

RECONSTRUCCION PALEOCLIMATICA Y PALEOAMBIENTAL DE LA PENINSULA IBERICA DURANTE EL CUATERNARIO. APLICACION DE MODELOS GEOPROSPECTIVOS PARA LA EVALUACION DE ESCENARIOS FUTUROS

E. Alberruche; D. Baretino; *ITGE*. J. Creus; *IPE*. (*CSIC*). A. Fernández Cancio; *C.I.T. INIA*.
M. Garcin; P. Godefroy; P. Peaudecerf; *BRGM*. A. Pérez González; *CCMA*. (*CSIC*).
T. Torres; *E.T.S.I.M.M.*

1. Introducción

Esta comunicación trata de resumir el trabajo realizado por el ITGE, BRGM, CCMA, IPE, ETSIMM y ENRESA en el proyecto titulado "Paleoclimatological Revision of Climate Evolution and Environment in Western Mediterranean Region. Evaluation of future evolution scenarios in the Iberian Peninsula", en el marco del Programa de la Comisión de las Comunidades Europeas sobre Gestión y Almacenamiento de Residuos Radioactivos (contrato CEC FI2W-CT91-0075).

Este Proyecto se planteó como consecuencia de la necesidad de evaluar el impacto que la evolución futura del clima y medio ambiente podría inducir en los almacenamientos de residuos radioactivos de alta actividad en formaciones geológicas profundas.

El Proyecto se ha enfocado como un estudio geoprospectivo, con dos grandes objetivos:

- Obtención de información acerca de la evolución del clima y medio ambiente durante el Cuaternario en la Península Ibérica, dentro del contexto del Mediterráneo Occidental.
- Aplicación y puesta a punto de metodologías y modelos geoprospectivos para la construcción de escenarios de evolución futura.

El primero de ellos se planteó para cubrir las importantes lagunas existentes en el conocimiento actual, y se ha abordado a partir del análisis del registro sedimentario cuaternario, correspondiente a diferentes ambientes de sedimentación, fundamentalmente en el sector central de la Península. Se ha abordado, así mismo, una reconstrucción climática a nivel pe-

ninsular en la escala del último milenio, a partir de un estudio dendrocronológico y dendroclimático.

El segundo de los objetivos se ha abordado mediante la aplicación de las herramientas y modelos geoprospectivos desarrollados por el BRGM para la construcción de escenarios de evolución geológica y ambiental futura.

Con el fin de establecer una base sólida de partida para el desarrollo del Proyecto, se comenzó por elaborar una síntesis de los conocimientos existentes sobre la evolución del medio ambiente y clima cuaternarios en la Península Ibérica. Como resultado, se han elaborado dos informes:

- "Síntesis del Medio Ambiente en España durante los dos últimos millones de años", redactado por un numeroso grupo de especialistas multidisciplinares y coordinado por el ITGE.
- "El Cuaternario en España en el contexto geológico y paleoambiental europeo occidental y perimediterráneo occidental", elaborado por el BRGM.

A continuación se citan los diferentes subproyectos en que se estructuraron las actividades para abordar la consecución de los objetivos, junto con los organismos participantes en cada uno de ellos.

- Investigación de la evolución paleoambiental cuaternaria de un sector del valle del río Tajo. ITGE; CCMA.
- Reconstrucción paleoclimática desde el Pleistoceno medio a partir de análisis geocronológicos e isotópicos de travertinos españoles. ITGE; ETSIMM.

- Reconstrucción climática del último milenio en el ámbito peninsular español a partir de series dendrocronológicas. ITGE; IPE.
- El Oeste de Europa y la Península Ibérica desde -120.000 años hasta el presente. BRGM.
- Modelización del paleositio del Jarama durante los últimos 100.000 años. BRGM.
- Evolución futura del sitio del Jarama a la escala de 100.000 años. BRGM.
- Base de datos paleoclimáticos y paleoambientales. Reconstrucción del clima peninsular a lo largo del Cuaternario. ITGE.

2. Investigación de la evolución paleoambiental cuaternaria de un sector del valle del río Tajo

2.1 Objetivos generales

En el centro de España, en la depresiones interiores cenozoicas que divide el Sistema Central, la evolución cuaternaria ha estado sujeta a un proceso más de erosión que de acumulación. Sin embargo, estos procesos de erosión arrancan del Neógeno superior y estructuran el paisaje en un sistema de superficies, con o sin depósito, durante el Plioceno, Pleistoceno y el Holoceno.

Las altas superficies de génesis compleja como son el piedemonte clástico de la Raña y la altiplanicie caliza del Páramo son los marcadores geomorfológicos y cronológicos pliocenos –a pesar de las indefiniciones que a este último respecto subsisten– de la evolución posterior cuaternaria de la Meseta norte y sur.

En estas mesetas, en sus valles fluviales mayores se han establecido largas secuencias de terrazas e inclusive de glaciares. Su geometría, litologías, suelos y relaciones geométricas espaciales y temporales empiezan a ser conocidos (Fig. 1). Sin embargo, el origen de estas formas y sus depósitos asociados todavía no están bien comprendidos, en particular si responden todas o algunas de ellas a determinados climas o a otros procesos geodinámicos como pueden ser los tectónicos. Este problema se agrava por la casi total ausencia de datos geocronológicos no relativos.

Este proyecto ha seleccionado tres áreas al sur de Madrid (Fig. 2), en el valle del río Tajo, donde se cumplen algunos requisitos que pueden ser útiles para intentar resolver alguno de los problemas planteados. Las ventajas de estas zonas denominadas de oeste a este: Talavera de la Reina, Toledo y Fuentidueña del Tajo, pueden resumirse en:

- a) Secuencias largas de terrazas construidas en el valle desde el marcador del piedemonte de la Raña.
- b) Toposecuencias de suelos con distinto grado de evolución, que pueden servir como indicadores paleoclimáticos.
- c) Potentes terrazas junto con espesos depósitos asociados de origen lateral (abanicos fluviales).
- d) Diversidad litológica y de medios sedimentarios incluyendo el eólico y el lacustre.
- e) Faunas de vertebrados e invertebrados del Pleistoceno medio e inferior.
- f) Yacimientos arqueológicos.
- g) Posibilidad de establecer diagramas polínicos de algunos de los niveles de terraza.

2.2 Metodología

Aunque resulta obvio, la multidisciplinariedad de los trabajos era condición indispensable para aproximarse al análisis paleoambiental en la construcción de los valles fluviales del interior de Iberia. Desde esta perspectiva se han realizado los siguientes estudios.

- i) Se ha realizado el inventario espacial de formas y depósitos de las tres áreas. Se ha trabajado fotointerpretando a escalas 1:30000 y 1:18000 ó 20000, y se han representado los elementos diferenciados en mapas a escalas 1:50000 e inclusive 1:10000. Los trabajos de campo posteriores han servido para corregir lo cartografiado o para establecer las zonas de muestreo para otros especialistas. En concreto se han cartografiado 780 km² del área de Talavera de la Reina, 700 km² del área de Toledo y 300 km² del área de Fuentidueña de Tajo.
- ii) Un problema mayor en este tipo de trabajos es el establecimiento de cronologías no relativas, que muchas veces no son posibles de realizar en los valles por el carácter marcadamente detrítico grueso de los depósitos de las terrazas. Este condicionante se tuvo en cuenta a la hora de elegir el valle fluvial de trabajo y las áreas a estudiar. Se han aplicado para la obtención de dataciones, técnicas de luminiscencia (TL y OSL), basadas en la datación de la última exposición a la luz de los granos del sedimento (cuarzo y feldespatos) antes de ser enterrados y se ha establecido una estratigrafía de la polaridad magnética para separar las inversiones de polaridad

magnética Brunhes-Matuyama y dentro de Matuyama el período normal de Jaramillo.

La aplicación de las técnicas de luminiscencia ha dado muy buenos resultados en el valle del Tajo para depósitos más jóvenes de 130 ka.

- iii) En cuanto a los suelos se ha trabajado en una cronosecuencia edafo-geomorfológica en el área de Talavera de la Reina, con 14 superficies aluviales escalonadas desde el piedemonte de la Raña hasta el nivel de la llanura aluvial. Se han realizado 41 calicatas y los suelos se han descrito y muestreado hasta los 2-3 m.

La definición de la tendencia edafogenética de la secuencia y las posibles modificaciones en el tiempo del factor clima, se han desarrollado a partir de:

- La clasificación de los suelos.
 - Índice de desarrollo del perfil edáfico.
 - Ritmo de meteorización.
 - Posición del límite superior de las acumulaciones calizas.
 - Correspondencia entre el frente de humectación actual y las acumulaciones calizas.
 - Distribución del carbonato en los suelos y estadio de desarrollo de las acumulaciones calizas.
 - Secuencia de horizontes genéticos.
- iv) Se han estudiado, igualmente, las propiedades magnéticas de los suelos para deducir o aproximarse a las variaciones medioambientales durante el Cuaternario, y se han medido en laboratorio, de los distintos horizontes de los suelos: la susceptibilidad magnética, la magnetización remanente anhisterética y la adquisición de la magnetización remanente isothermal. Los muestreos se han realizado con cucharas no magnéticas y taladradores portátiles.
- v) Los estudios palinológicos se han centrado en el área de Toledo. Se han muestreado tanto facies de overbank de terrazas como depósitos de abanicos aluviales sobreimpuestos a las terrazas. Dada la naturaleza de las muestras se han tratado según los protocolos de Sittler (1955), modificados por el laboratorio de palinología de la Univ. de Alcalá de Henares. Los datos se han tratado con tres tipos de análisis estadísticos y en las formaciones del Pinedo y Valdelobos, se han hecho análisis de Componentes principales y Modelización del Análogo Climático.

- vi) Los estudios de vertebrados (micromamíferos) e invertebrados (gasterópodos), se refieren únicamente a las áreas de Toledo y de Fuentidueña del Tajo. La metodología utilizada ha sido la habitual de lavado y triado de sedimentos e identificación en la lupa binocular de restos fósiles de micromamíferos de hasta 0,7 mm de talla. Un método semejante es el utilizado para la extracción de gasterópodos de los sedimentos.

- vii) Finalmente, el estudio arqueológico ha servido para establecer correlaciones con otros yacimientos de la Meseta con cronología conocida, como por ejemplo el yacimiento de Aridos en el valle del río Jarama. La evolución en el tiempo de las industrias líticas puede permitir además conseguir indicaciones significativas respecto a los límites cronológicos de los depósitos asociados con ellas.

2.3 Conclusiones

Los trabajos de campo y la cartografía geomorfológica establecida han permitido en cada una de las tres áreas escogidas determinar la secuencia de terrazas, a su vez con criterios de posición relativa y magnetoestratigráficos. Se han correlacionado y organizado las terrazas para el tramo comprendido entre Fuentidueña de Tajo y Talavera de la Reina. Así, por ejemplo, las secuencias de terrazas de Talavera de la Reina y Toledo están recogidas, respectivamente, en las tablas 1 y 2.

Las terrazas preservadas alcanzan el número de 15 comprendidas entre las cotas relativas de +185-190 m (Malpasillo) y el +7-9 m (Malpica). La llanura aluvial actual o vega se encuentra a +3-5 m.

Los datos cronológicos obtenidos por luminiscencia y paleomagnetismo permiten situar el límite del Pleistoceno superior y medio, entre las terrazas de +20 y +30 m, y la transición al Pleistoceno inferior en el nivel aluvial de +60 m. No ha quedado establecida en este trabajo la cronología de la Raña ni la cronología de las más altas terrazas. El supuesto de que las terrazas por encima de los +150 m, sean pliocenas no ha quedado demostrado ya que la terraza más alta muestreada a +105 m, presenta una polaridad inversa y estaría en Matuyama.

Paleoambientalmente, todos los datos florísticos y faunísticos, indican claramente un clima templado, mediterráneo, a veces con tendencia a la humedad o a una mayor aridez, con paisajes abiertos típicos mediterráneos, para los momentos de deposición de las facies de abanicos aluviales sobre las terrazas. Los datos ambientales que aportan los restos fósiles de vertebrados de las terrazas fluviales, no son tan con-

cluyentes y señalan condiciones de hábitat boscosas o sabanas aunque no en un medio estrictamente estepario, p.e., en la terraza de Valdelobos superior, o condiciones de clima más húmedo y benigno que el actual como en Pinedo.

Las aportaciones de los suelos y de las propiedades paleomagnéticas de los mismos señalan (Fig. 3), unas condiciones de clima húmedo y cálido en el Pleistoceno inferior y más árido en la transición del Pleistoceno inferior y medio, para a partir de entonces instaurarse un clima mediterráneo parecido al actual.

El análisis de toda la información disponible hasta el momento, indica que ha habido una cierta homogeneidad climática durante el Cuaternario con un claro período más reciente tendente a la aridez desde el óptimo climático Eemiense a la actualidad. Sin embargo, esa homogeneidad no significa que no haya habido una variabilidad climática dentro de un clima mediterráneo, tal y como señalan los datos polínicos de las terrazas del Pleistoceno medio y superior del área de Toledo.

3. Reconstrucción paleoclimática desde el pleistoceno medio a partir de análisis geocronológicos e isotópicos de travertinos españoles

3.1 Introducción

El planteamiento inicial de este Proyecto, se basaba únicamente en el "Análisis de muestras geocronológicas", 100 muestras y en el análisis de isótopos estables, 100 muestras ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) con la intención de llegar a conclusiones sobre la evolución paleoclimatológica en el pasado, a partir de la evolución de las relaciones isotópicas.

A la vista de las incertidumbres que presentaban las metodologías implicadas, se modificó el diseño original del Proyecto, llegándose a un enfoque más generalista, con redundancia en los métodos de datación empleados, con el uso, cuando fue posible, de sistemas de control de las inferencias de cambio climático derivadas del análisis de isótopos estables y con la inclusión de interpretaciones paleoambientales. En la tabla 3 se detallan los trabajos realizados, que como se ve, exceden ampliamente del alcance del contrato inicial.

Se seleccionaron una serie de áreas, que cubrían una variedad geográfica importante y una amplia serie de medios de deposición de travertinos. También se incluyó una zona con depósitos kársticos (espeleo-

temas) y varios yacimientos de osos pleistocenos, Fig. 4.

Las áreas con depósitos de travertinos fueron las siguientes:

- Travertinos fluviales de Priego (Cuenca).
- Travertinos fluvio-lacustres de Río Blanco (Soria).
- Travertinos lacustres de Banyoles (Girona).
- Travertinos de abanico aluvial de Jorox (Málaga).

La zona kárstica en cuestión fue la Cueva del Reguerillo, y áreas aledañas, en Torrelaguna (Madrid).

3.2 Realizaciones más relevantes del Proyecto

La realización de este Proyecto ha permitido obtener una serie de resultados, que se pueden describir englobándolos en innovaciones de tipo metodológico y avances en el conocimiento de la evolución paleoclimática y paleoambiental de distintas zonas.

Posiblemente la innovación metodológica mas importante esté en la puesta a punto de un laboratorio de dataciones absolutas por análisis de racemización de aminoácidos.

Esta metodología, se basa en el proceso natural de racemización que sufren los aminoácidos (L) de los seres vivos que tras la muerte del organismo se van haciendo dextrógiros hasta alcanzar la relación D/L=1.

Con la firma del contrato N^o.0701041 entre la UPM y ENRESA, se dieron los pasos para la instalación de un laboratorio de estas características en la Unidad Docente de Estratigrafía y Paleontología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, laboratorio que es el primero de estas características en España. Para la puesta a punto del mismo, y del método, se contó con la colaboración de la Dra. V. Meyer de la University of Bern (Suiza).

Desde el momento en el que se consideró que el laboratorio era operacional hasta la actualidad se han realizado unas novecientas dataciones. Se puede afirmar que la datación de conchas de moluscos y equinodermos constituye rutina de laboratorio, mientras que la datación de dientes de mamíferos está acabando de ser puesta a punto.

En lo que se refiere al desarrollo del proyecto "Reconstrucción paleoclimática desde el Pleistoceno medio a partir de análisis geocronológicos e isotópicos de travertinos españoles", la aplicación sistemática del método ha permitido establecer las cronologías

relativas y absolutas de los travertinos de Priego y Río Blanco, así como de los depósitos de abanico aluvial de Redueña, Fig. 5, en este caso ligados al karst de la Cueva del Reguerillo. Cabe decir que en el caso de Priego se han datado materiales cuya edad supera el alcance del método del U/Th y en Redueña lo han sido depósitos hasta ahora indatables.

Cabe afirmar que algunos de los logros más importantes de este Proyecto, se sitúan en la obtención de edades numéricas de depósitos que anteriormente no habían podido ser datados. Ya se han citado brevemente las dataciones derivadas del método de análisis de la racemización de aminoácidos, aunque la gran panoplia de métodos de datación empleados: AARD, ESR, U/Th y paleomagnetismo, también ha permitido obtener referencias cronológicas más o menos exactas de algunas formaciones, que hasta ahora permanecían indatadas, así como refrendar mediante el uso redundante de los métodos de datación, las edades obtenidas a partir del uso de técnicas diferentes.

Posiblemente uno de los puntos de mayor interés está constituido por el karst de la Cueva del Reguerillo, donde se poseía una datación por macro y micro-mamíferos de la terraza de +40m del río Lozoya, que ha quedado totalmente refrendada por la datación mediante ESR, que también ha permitido situar en el límite Plio-Pleistoceno una inversión magnética en una colada estalagmítica en la terraza de +140m del río Lozoya.

La aplicación simultánea de la datación radiogénica por U/Th y por AARD de los travertinos de río Blanco ha permitido situar en el tiempo estos depósitos, resultando ser notablemente más jóvenes de lo inicialmente intuido.

Se han obtenido buenos resultados en Priego, así como en Banyoles, pero en la zona de Tolox los resultados han sido decepcionantes, aunque habría que insistir en nuevas dataciones.

De la geomorfología, dataciones numéricas y sedimentología, se han obtenido bastantes datos de evolución ambiental. Entre los datos obtenidos, cabría destacar los siguientes:

En río Blanco (Soria), Fig. 6, se pone de manifiesto la existencia de tres generaciones de travertinos que corresponden a los episodios del oxígeno 7,5 y 3.

Hay un enorme salto cronológico entre las edades de las superficies y rellenos kársticos neógenos y la de la terraza más antigua, parte alta del Pleistoceno medio. Ello implica que el río Blanco no tuvo conexión alguna con la evolución de la red fluvial general, cuya incisión comienza a finales del Plioceno.

Posiblemente esta zona estuvo ligada a depresiones kársticas cerradas.

La heterocronía de las terrazas teóricamente isócronas atendiendo a su cota relativa, sugiere que posiblemente se trataba de varias depresiones conectadas muy tardíamente. También indica que la barrera de Las Chorroneas actuó alterando el nivel de base aguas arriba, lo que “descoloca” la cota de la terraza mas antigua.

La captura del río Blanco por el río Jalón se produjo, como muy pronto, con posterioridad al episodio 5 del oxígeno.

Los datos isotópicos parecen estar en consonancia con las características ambientales derivadas del análisis de facies de los depósitos y en la terraza intermedia, episodio 5 del oxígeno, las rupturas sedimentarias podrían correlacionarse con la alternancia de períodos fríos y cálidos que, al parecer, caracterizan a este interglaciar (Eem).

También se han obtenido datos de interés sobre la evolución paleoclimática de la Península Ibérica durante el Pleistoceno, aunque la falta de registros geológicos con continuidad estratigráfica hace que esta evolución aparezca sesgada: está claro que la presencia de depósitos carbonatados va ligada a unas características (paleo)climáticas determinadas: momentos cálidos y húmedos.

Como ejemplo se pueden exponer los datos derivados del análisis de una área de travertinos (Estany de Banyoles) donde los abundantes datos palinológicos han permitido contrastar la evolución de las relaciones isotópicas, y una zona de espeleotemas (Cueva del Reguerillo).

Para la interpretación de las variaciones de la $\delta^{13}\text{C}$, se asumirá que con persistencia de plantas superiores (árboles y plantas de follaje), se hace mas negativa. Crece hasta hacerse positiva con dominancia de herbáceas.

En la Fig. 7 se han representado conjuntamente la evolución del contenido en polen de *Artemisa* (verde) el de la $\delta^{13}\text{C}$ (rojo) y la profundidad (ordenadas). La visión global del gráfico es muy esperanzadora: no parece que se pueda objetar la representatividad paleoclimática (o al menos indicadora de tipo de cubierta vegetal) de la $\delta^{13}\text{C}$, que en su evolución general “calca” la línea que definen las oscilaciones en las frecuencias del polen de *Artemisa*. Cuando sube la presencia de *Artemisa*, los valores de la $\delta^{13}\text{C}$ se mueven en dirección similar, ascienden también y se hacen positivos.

Se detecta perfectamente la zona de mejoría climática B2, en la que la $\delta^{13}\text{C}$ alcanza el valor mas bajo. Dentro del episodio B3 hay dos descensos en la frecuencia del polen de *Artemisa*, uno de ellos podría indicar una corta pulsación de mejoría con descenso de plantas estépicas y aumento de árboles, el otro, a techo, no tienen reflejo claro en la evolución de la $\delta^{13}\text{C}$. La mejoría climática a techo de B4 parece que se da a saltos y, el episodio B5 de mejoría, es el momento final de una tendencia general de mejora con descenso en diente de sierra de la frecuencia de *Artemisa* y una bajada neta de la $\delta^{13}\text{C}$. El Dryas (B6) está muy bien marcado en la evolución de la $\delta^{13}\text{C}$ y algo menos en la *Artemisa*. El Holoceno B7 está bien definido.

En general, los valores de la ^{18}O varían muy poco, tanto en su conjunto, como en la vertical de cada uno. Aunque el caso del sondeo Banyoles es bien distinto, en el que para el análisis del comportamiento de la $\delta^{18}\text{O}$, se asumirá que con el descenso de la temperatura se hará mas negativo.

Se ha representado conjuntamente la $\delta^{18}\text{O}$ junto con la de *Artemisa*, Fig. 7. Aunque no de forma tan clara como ocurría en la $\delta^{13}\text{C}$, se observa cierta correspondencia, y la mejoría del Böllig-Alleröd se distingue fácilmente, así como la oscilación fría del Dryas (B6). En el Holoceno se hace marcadamente negativa, sin que aparentemente exista explicación. Algo similar puede decirse de la variación de la $\delta^{18}\text{O}$ a final del Pleniglaciario, que parece indicar una mejoría térmica.

Para el análisis de la evolución isotópica de los espeleotemas del karst de la Cueva del Reguerillo, Fig. 8, se ha elegido como referencia los datos de Layna en Soria. Se trata de una localidad muy singular, situada en una zona de altitud ligeramente superior a la de la Cueva del Reguerillo, con una abundante fauna del Plioceno superior (Rusciniense).

La relación isotópica del carbono ($\delta^{13}\text{C}$) indica, de acuerdo con los datos bibliográficos, que en aquel momento había una importante cobertura vegetal de plantas del ciclo C3 (árboles y arbustos). El hecho de que la fauna esté englobada en materiales de abanicos aluviales, que fosiliza las estalagmitas, podría interpretarse como un deterioro de la cobertura vegetal, aridificación, que facilitó la destrucción del suelo y el arrastre de detritus a la cavidad. Si la colada estalagmítica muestreada es posterior al depósito de los restos paleontológicos, indicaría que se vuelven a alcanzar una mejoría climática.

Los datos que se han obtenido en las coladas estalagmíticas y estalagmitas de la Cueva del Reguerillo (R30) y otras cuevas del Cerro de la Oliva (R2, R27, R11, R29), se pueden agrupar en dos conjuntos muy netos:

- Muestras que marcan un “empeoramiento ambiental leve”, respecto las condiciones marcadas por los valores de Layna: R2-2, R30-1-8, R30-1-9, R30-1-9b, R-27-1., R11 y R29.
- Muestras que marcan un “empeoramiento ambiental severo” respecto las condiciones definidas por los valores de Layna: R30-1-15, R-30-3, R30-1-21.

De manera mas individualizada, se puede afirmar que los datos de las muestras R30-1-8, R30-1-9 y R30-1-9b, que corresponden al Hundimiento del I Piso de la Cueva del Reguerillo, en la zona donde se ha detectado una reversión magnética y que se sitúa aproximadamente en 2.000 ka, se aprecia un empeoramiento respecto las condiciones definidas en Layna.

Las muestras de la cueva R27 son de extraordinaria importancia, ya que es un punto datado perfectamente por ESRD y por paleontología. En este momento, que se podría hacer corresponder con un período cálido (Cromer), se puede interpretar una espectacular recuperación de las condiciones ambientales definidas en Layna, bien es verdad, que parece que sólo se producen en el “clímax” del momento deposicional de cada colada R27-1 y R-27-2, cuya inicio y final R27-1-1. R27-1-5, R27-1-2-5) suele marcar condiciones mas desfavorables.

En la muestra R11, de edad desconocida, se detecta un empeoramiento progresivo.

La muestra R29 (Cueva de la Escarihuela), correspondiente al episodio 9 del oxígeno, refleja un momento posterior a una brusca entrada de agua en el karst, agua del propio macizo no de aporte fluvial, que aterrazó depósitos fluviokársticos muy antiguos, y marca la existencia de una cubierta de plantas del ciclo C3, similar a la que existió en Layna.

Por el contrario, la muestra R30-1-15, aunque con una “mejoría” en el centro del depósito, ya indica un “deterioro ambiental severo”.

Las muestras R30-3 y R30-1-21, son netamente del Pleistoceno superior (Würm). En la primera, procedente de una estalagmita, se inició su crecimiento a los 80 ka (episodio 9 del oxígeno?) y terminó a los 45ka (episodio 3 del oxígeno), se marca un neto “deterioro ambiental” respecto de las condiciones de Layna o de R27, es verdad que con mejorías relativas. Posiblemente la muestra R30-1-21, corresponda al ciclo central de mejora de la R30-3-1-5.

Las muestras LU-1-1 y LU-1-2, corresponden a una colada estalagmítica de la Cueva del Cueto de la Lucia en Quintanilla, Cantabria. Su edad (U/Th), coincide con la base de la muestra R30-3-1-1, y los valores isotópicos del carbono también

La curva isotópica del oxígeno, correspondiente al grupo de muestras R30-1-8, R30-1-9 y R30-1-9b, al igual que ocurrió con la $\delta^{13}\text{C}$, muestran una parte inferior que difiere poco de las condiciones de Layna y un fuerte deterioro ambiental a nivel de la muestra R30-1-9-5, que indica un período más cálido, presumiblemente más seco con predominio de gramíneas.

De manera similar, a como ocurrió en la curva isotópica del ^{13}C , en las muestras correspondientes a la cavidad R27, que según la fauna se situarían en el Cromer y según la datación por Resonancia de Electro Espín (ESRD) en 950ka, se retorna a las condiciones ambientales de Layna con una "crisis ambiental" coincidiendo con una discontinuidad entre dos espeleotemas, que en el caso del ^{18}O marca un momento mas cálido (mas seco) con subida en la importancia de las gramíneas. Finalmente la curva, al final del depósito del espeleotema, marca un aumento de la temperatura que conduce a un aumento de aridez. Respecto el carácter "frío-cálido" de la relación isotópica del oxígeno, valga que en el yacimiento se han preservado restos de un mono (*Macaca* sp.), que sería similar a la mona de Gibraltar, que habita los encinares del Atlas marroquí, así como de un hipopótamo (*Hippopotamus* sp.), que es un animal decididamente termófilo.

Los valores de la estación R11 (sin datación), oscilan poco, algo más altos que los valores mas frecuentes en las muestras de Layna, sin mostrar las oscilaciones que aparecen en la $\delta^{13}\text{C}$; parece que marcan una correspondencia del tipo aumento de la vegetación herbácea –aumento de la temperatura.

Los valores de relación isotópica del oxígeno en el punto R29 (La Escarihuela), datado 216ka, varían poco entre sí y respecto los valores de Layna, a los que se parecen de forma notable.

En el punto R30-1-15 (Colada blanca de la serie del Hundimiento de la Cueva del Reguerillo), se aprecia un cierto enfriamiento de muro a techo, con un valor isotópico más alto que en Layna, así como una llamativa falta de correspondencia entre $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{13}\text{C}$, ya que a un progresivo enfriamiento de muro a techo de la muestra marcado por el oxígeno, el carbono indica un momento central con menor dominancia de herbáceas.

Las muestras de la estalagmita R30-3, entre 45 y 80ka, marcan un momento relativamente cálido, que

refleja oscilaciones en el mismo sentido que lo hace la $\delta^{13}\text{C}$, aunque más cálido que Layna.

Algo similar ocurre con la muestra R30-1-21, colada estalagmítica color caramelo, del Hundimiento del I Piso de la Cueva del Reguerillo.

4. Reconstrucción climática del último milenio en el ámbito peninsular español a partir de series dendrocronológicas

4.1 Introducción

El objetivo final es crear una base de datos climáticos de las últimas centurias para todo el territorio español, reconstruidos a partir de series dendrocronológicas. Su perspectiva temporal podrá ser utilizada para analizar e interpretar el comportamiento climático durante los citados siglos.

La dendroclimatología permite extraer de cada uno de los incrementos anuales el clima que ha condicionado su crecimiento, de manera que es posible transformar una o varias cronologías en series temporales de una o varias variables climáticas. Para ello es necesario conseguir un máximo de cronologías que cubran el territorio lo mejor posible, con una densidad suficiente y un máximo de longitud temporal. Sin embargo ambas características no siempre son posibles, pues con frecuencia deben construirse en zonas muy concretas, donde la sensibilidad de la especie y su longevidad alcancen valores aceptables.

Muestreos realizados

La experiencia de anteriores muestreos evidencia que las mayores posibilidades dendrocronológicas se centran en los bosques de coníferas de la Cordillera Pirenaica, Sistema Ibérico, Sistema Central, Serranía de Cuenca, Cordilleras Béticas y SE español. Otras zonas montañosas del N y NW peninsular ocupadas mayormente por frondosas presentan el inconveniente de su menor sensibilidad climática y de la mayor dificultad de su estudio, especialmente su datación absoluta.

En el mapa adjunto figuran los lugares donde se han conseguido las muestras, casi todas de *Pinus nigra* ssp. *salmanii*, salvo algunas muestras de *Pinus sylvestris* L de la zona central, *Pinus uncinata* R. en el Pirineo y Sistema Ibérico y algunas muestras del género *Quercus* en la zona Gallega. En total son 39 las localidades muestreadas y con las que construir otras tantas cronologías.

4.2 Aspectos metodológicos: sincronización y estandarización de las medidas

La metodología seguida ha sido la actualmente utilizada en este tipo de estudios y que puede consultarse en la abundante bibliografía existente, de manera que muy sucintamente destacaremos los dos procesos más importantes. Cualquier serie de crecimiento puede presentar varios tipos de anomalías (anillos ausentes, anillos dobles, errores de medida, etc.) que es preciso eliminar. Para detectarlas se han transformado las series de medidas mediante la aplicación de filtros y funciones logarítmicas que reducen la varianza de baja frecuencia y examinan únicamente la de alta. Con los datos transformados se elabora una serie maestra que se relaciona con cada una de las series medidas de esa localidad, en segmentos de 50 años y una superposición de 25 (programa Cofecha del Tree Ring Laboratory, Universidad de Tucson).

La estandarización pretende elaborar un modelo teórico de crecimiento para cada serie de cada árbol y de cada localidad, expresado en una curva concreta en torno a la cual fluctúan los crecimientos de cada año. Con el fin de estabilizar la media y hacer homogénea la varianza, se calcula el índice derivado de la relación entre el valor real y el teórico de cada año. Teniendo siempre presente el preservar la variabilidad de media y baja frecuencia comunes al conjunto de muestras de una localidad, se han elegido dos tipos de funciones: la exponencial decreciente y la tipo spline. La primera se ha aplicado a aquellas series cuya tendencia más evidente era causada por la edad, sin distorsiones aparentes en la variabilidad general. Las funciones spline se reservaron para aquellas muestras con evidencias de alteraciones en su crecimiento provocadas por factores no climáticos. Realizados ambos procesos se consigue la cronología de cada localidad.

4.3 Relaciones entre el crecimiento y el clima. Cálculo de las funciones respuesta y de transferencia

En el cuadro 1 figuran los observatorios seleccionados, por su longitud de serie y calidad, para calcular las relaciones entre el crecimiento y el clima (función respuesta), seleccionar aquella o aquellas variables ambientales más significativas en dicho proceso e intentar retropredecirla a través del modelo de relaciones calculado con la función de transferencia ...

Para calibrar estas relaciones se ha utilizado la regresión en componentes principales, por medio de la cual los datos climáticos se expresan en términos de

componentes principales al transformarlos en autovectores que recogen parte de la varianza y son empleados como predictores de la función de regresión. Dicho análisis multivariante se ha aplicado a cada uno de los casos posibles, de manera que cada cronología se ha puesto en relación con el conjunto de variables climáticas mensuales de cada observatorio, tomadas como una matriz de 15 variables (temperatura y precipitaciones entre julio del año anterior y septiembre del año en curso) durante todos los años con datos climáticos disponibles. Se han calculado 476 funciones respuesta, aunque no todas aportaron variables significativas.

Una vez conocidas las variables que pueden ser reconstruidas en cada observatorio, se ha procedido al cálculo de las funciones de transferencia. Su finalidad es elaborar un modelo que permita reconstruir las variables climáticas seleccionadas por su significación, a partir de las series dendrocronológicas. El planteamiento ha sido el mismo que para calcular las funciones respuesta, pero invirtiendo los predictores (variables climáticas seleccionadas en la función respuesta) por los predictandos (cronologías), y viceversa.

4.4 Conclusiones

La distribución espacial de las cronologías permite diferenciar siete grandes zonas: Gallega, Central, Cuenca, Ibérica del NW, Ibérica del SE, Pirineos y Sureste. En cada una de ellas se han conseguido sincronizaciones entre cronologías casi tan significativas como entre muestras de una misma cronología. De ahí su calidad como cronologías regionales.

Con las funciones respuesta y de transferencia calculadas se han reconstruido 111 variables climáticas. Los resultados constituyen la base de datos que se entrega informatizada.

Se adjunta, a modo de ejemplo (Figuras 9 a 19), la representación gráfica de 1 de las 111 variables reconstruidas, mostrando su ajuste polinómico. De la evolución de todas ellas pueden deducirse los siguientes aspectos:

En la zona NW peninsular los cambios de tendencia a largo plazo apenas son significativos, siendo la zona de clima oceánico más fidedigno la que parece tener un clima más estable en el tiempo, ya sea por el citado tipo de clima, latitud, etc. La evolución temporal de las variables si presentan una significativa reducción de la variabilidad interanual, en la actualidad mucho menor a la que se registraba en los siglos XVII y XVIII coincidentes con el final de la P.E.G. Sin embargo, este comportamiento no es exclusivo

de esta zona y clima, pues se ha reducido en mayor o menor medida en todo el ámbito peninsular.

La zona centro muestra mayores cambios de tendencia, a pesar de que las amplias ondas apenas varían la media. La confluencia de ambientes climáticos puede explicar los múltiples tipos de tendencias que se observan, destacando como más comunes el incremento de la humedad fini-estival (en algunos casos desde épocas más recientes) y una elevación de la temperatura en éstos mismos meses. Ambos factores pueden estar relacionados con un incremento de la continentalidad, reflejada en la mayor frecuencia de procesos convectivos durante la época cálida. Estas características son bastante similares a las observadas más al este, en el extremo oriental de la cordillera Ibérica.

En el norte peninsular los cambios más evidentes se observan en el descenso de la temperatura invernal y estival hasta mediados del siglo actual y posterior recuperación hasta finales de este siglo. Ello va acompañado, igualmente, de un aumento de la lluvia estival durante los últimos 100 años.

En la zona sur también se observa un progresivo incremento del calor estival, como ocurre en casi todas las demás zonas españolas, pero con la diferencia de que las lluvias de ésta época y las de otoño tienden a reducirse progresivamente.

¿Cabe pensar que la secuencia temporal de los acontecimientos sea una evolución hacia un incremento de la continentalidad (lluvias y calor de verano-otoño), para continuar con una pérdida de esa “teórica humedad” como preludio hacia un ambiente cada vez más seco?, ¿sigue este proceso una trayectoria sur-norte?, ¿ya es evidente en la parte sur española y todavía poco sensible en el norte?, ¿son éstos síntomas de un cambio climático muy cercano?. La Península Ibérica es, sin duda, un excelente campo de observación, pues aunque situada en la zona templada queda muy cerca de las altas presiones subtropicales y cualquier movimiento de ellas, más o menos permanente o pasajero, deja sentir sus efectos sobre nuestro territorio. Los interrogantes pueden ser cada vez más numerosos y complejos de resolver, pero inevitablemente es el camino que hay que recorrer.

5. El oeste de Europa y la Península Ibérica desde -120.000 años hasta el presente

El objetivo de este estudio es elaborar un atlas con los mapas de reconstitución, a escala de Europa, de

las variaciones térmicas, eustáticas y del impacto de las deformaciones isostáticas en la Península Ibérica desde el último máximo glacial hasta el presente. Para la realización de este estudio se ha utilizado el paquete de software “Geoprospect”, desarrollado en el BRGM, cuya finalidad es proporcionar cartografía y cuantificar diversos procesos geológicos que se han producido durante el Cuaternario.

La metodología y resultados cartográficos de este trabajo se encuentran reflejados en la Publicación Técnica Núm. 05/94 de ENRESA, por lo que a ella remitimos al lector interesado, y pasamos a sintetizar otros estudios geoprospectivos incluidos en el Proyecto.

6. Estudio del paleositio del Jarama desde -120.000 años hasta el presente

El objetivo de este estudio ha sido reconstruir la evolución pasada de una región en los últimos 120.000 años, y validar esta simulación a partir de los datos geológicos existentes. Esta validación permitirá posteriormente efectuar una simulación de la evolución futura de esta misma región en condiciones comparables. Para hacerlo, se ha utilizado la metodología desarrollada en el marco del proyecto EXPECT, que puso en práctica técnicas de inteligencia artificial, y principalmente del razonamiento cualitativo. Esta metodología permite el análisis y la formalización de los conocimientos que se poseen sobre los procesos y los fenómenos a simular. Según el grado de conocimiento que se tiene del problema, ciertos fenómenos son tratados cuantitativamente (altura, erosión de los cursos de agua, etc), o cualitativamente (tipo de vegetación y de permafrost).

El emplazamiento escogido para este estudio, aunque no responde a todos los criterios necesarios para el almacenamiento de residuos, es relativamente representativo de las condiciones geológicas que se podrían encontrar en otras zonas más apropiadas de España.

Después de haber identificado todos los eventos y fenómenos geológicos plio-cuaternarios globales y regionales se efectuó una selección. El análisis de las relaciones causales existentes entre todos los fenómenos seleccionados, incluyendo los bucles de retroacción, ha permitido la construcción de un gráfico causal. En éste cada parámetro y proceso está representado por un nudo. Los nudos están ligados entre ellos por una o varias relaciones causales, expresadas

según una tipología precisa (derivación, proporcionalidad, valores críticos, ecuaciones, etc).

Una vez establecido el gráfico, se ha intentado una cuantificación de los parámetros a partir de los estudios y documentos geológicos disponibles. Las cuantificaciones permiten delimitar el orden de magnitud de las respuestas a esperar en los resultados de la simulación. Esta parte reviste una importancia capital. El grado de confianza que se le atribuye a la simulación está directamente relacionado con la fiabilidad y precisión de nuestro conocimiento de los fenómenos geológicos y de sus dinámicas.

Esto implica que el conocimiento del “terreno” es primordial, y que ante toda tentativa de simulación es necesario incluir los estudios geológicos más avanzados.

A partir del gráfico causal establecido, se han efectuado cinco simulaciones. Las dos primeras son test de sensibilidad que muestran la respuesta del sistema “paleosito” con la activación de un solo nudo entrante a escala global a la vez. Las variaciones de los valores de los parámetros (altitud, erosión del Jarama, temperatura media anual, etc.) evidentemente no se ajustan bien a la realidad geológica. Este hecho confirma que la evolución del emplazamiento no está bajo el control de un solo fenómeno, sino que resulta de un “forcing múltiple, aun cuando el sistema es la resultante de acciones combinadas (interacciones) de múltiples procesos.

En las tres restantes simulaciones, se activan los dos nudos entrantes a escala global con las mismas evoluciones que en los test de sensibilidad, y los movimientos tectónicos (nudos entrantes a escala regional) detectados por los estudios geológicos son activados uno a uno.

Solamente la última simulación (simulación 5), en la cual se activan todos los nudos entrantes y que tiene en cuenta el basculamiento hacia el suroeste del bloque, es satisfactoria a pesar de las simplificaciones realizadas. En efecto, los parámetros muestran a lo largo de toda la simulación un comportamiento coherente con los datos del terreno, y los valores obtenidos son del mismo orden que los deducidos de los estudios geológicos.

Para permitir afinar el gráfico de influencia y las velocidades y valores de control utilizados sería necesario, por ejemplo, disponer de:

- Dataciones más precisas de las terrazas.
- Un mejor conocimiento del comportamiento de las cuencas fluviales y ríos de la Península Ibérica (y del Jarama en este caso) durante el Cuaternario y el último ciclo glaciár.

- Evaluaciones de las velocidades de los movimientos verticales (movimientos de los bloques).
- Una evaluación de los movimientos en los accidentes recientes en los cuales perdura la actividad.
- Una curva continua de las temperaturas medias y de las precipitaciones de origen regional, lo que permitiría emitir unas evoluciones más próximas a la realidad regional que las que han sido utilizadas (estudio de alta resolución de larga secuencia), etc.

A pesar de todo, este estudio demuestra el interés de las técnicas empleadas para la reconstrucción de la evolución de un emplazamiento en un período del orden de 100.000 años.

Teniendo en cuenta que los comportamientos y los valores de los fenómenos y procesos tratados son conformes con las observaciones geológicas en el estado actual de nuestro conocimiento, es abordable una simulación de la evolución futura del emplazamiento en una centena de millones de años.

7. Evolución futura del emplazamiento del Jarama durante los próximos 100.000 años

Los resultados del estudio del paleosito han permitido identificar los procesos geológicos y climáticos que han jugado un papel importante en su evolución. Al haber sido juzgado como satisfactorio el calado de los parámetros, se ha abordado una simulación de los estados futuros en este mismo emplazamiento para un período de tiempo equivalente y en un contexto geodinámico próximo.

Se han efectuado tres simulaciones. La primera simulación (futuro 1), que utiliza los parámetros validados en la simulación 5 del estudio del paleosito, se presenta como la más plausible. Además, los valores de los parámetros obtenidos en esta simulación aparecen como unos valores “medios” con relación a los obtenidos a partir de hipótesis que amplifican los procesos tectónicos con un factor 4, o bien los anulan. Esta simulación permite esbozar la evolución del emplazamiento del Jarama para los 100 Ka futuros.

En esta simulación, los nudos entrantes a escala global son procedentes de las curvas de los niveles marinos y de temperaturas medias anuales extrapoladas de las curvas orbitales ACLIN 1 e IMBRIE. Los nudos entrantes a escala regional, es decir, los movi-

mientos verticales y el movimiento de la falla su-puesta entre el emplazamiento y el río Jarama, guar-dan las mismas velocidades (-0,5 mm/año y 0,5 mm/año) que en la simulación 5 del estudio del pa-leosito. Esto corresponde a la hipótesis según la cual se supone la estabilidad del campo de tensiones du-rante los 100 Ka futuros y los efectos de estas tensio-nes (basculamiento del bloque hacia el SSW) tienen las mismas características que durante el Cuaternario reciente.

La hipótesis de base de esta simulación es que se va a considerar el perfil de equilibrio del Jarama en el final del Holoceno como el perfil de referencia, y en consecuencia, todo aumento de este perfil lleva consigo el desencadenamiento de la erosión en este río, mientras que un valor idéntico no se acompaña más que de un tránsito de los materiales, y una dismi-nución desencadena la sedimentación.

Las temperaturas obtenidas en el emplazamiento varían entre un máximo de 11,5°C (valor inicial), y un mínimo de -2,2°C en 60 Ka AP). Asistimos, a par-tir del Actual, a una bajada muy rápida de las tempe-raturas en el emplazamiento que llega a 4,2°C hacia el 5 Ka AP, que se estabiliza antes de descender a 2°C hacia el 23 Ka AP. Esta fase es seguida por una remontada de las temperaturas hacia los 10°C (30 Ka AP), antes de volver a descender para estabilizarse a 4°C. En el 50 Ka AP se constata una bajada bastante fuerte de la temperatura, aunque menos brutal que la notada entre 0 y 5 Ka AP, alcanzando el período más frío de los 100 Ka futuros. Esta temperatura, estima-da en alrededor de -2°C, es teóricamente insuficiente para desencadenar la aparición de un permafrost es-porádico. No obstante, teniendo en cuenta las impre-cisiones sobre las respuestas a los factores de forcing orbital, parece posible que en el entorno del 60 Ka AP pudiera desarrollarse un permafrost esporádico.

Del 60 Ka AP al 72 Ka AP se produce una rápida y amplia remontada de las temperaturas hasta alrede-dor de 11°C. Después una bajada hasta 4,5°C en el 82 Ka AP, y una estabilización hasta el 100 Ka AP.

El descenso rápido del nivel marino durante los cinco mil primeros años de la simulación, y después su oscilación entre -57 y -80 m hasta el 47 Ka AP, es responsable del aumento de la pendiente del perfil de equilibrio del Jarama, desencadenando la erosión en su curso. El descenso significativo del nivel marino desde el 47 al 60 Ka AP hace perdurar la erosión, y no es hasta alrededor del 69 Ka AP, a partir de la re-montada eustática y de que el Jarama recupera su perfil, cuando se establece un período de sedimenta-ción. El nivel marino sube hasta el entorno de -30 m

(74 Ka), antes de volver a bajar hasta la cota -109 m hacia el 100 Ka AP. Durante este nuevo descenso eustático, hacia el 90-91 Ka AP, el perfil de equili-brio vuelve a aumentar por encima de su valor crítico, desencadenando una nueva fase de erosión, que se mantiene hasta el fin de la simulación.

La evolución del río Jarama a lo largo de los próxi-mos 100 Ka puede resumirse así:

- Una fase de erosión de 0 a 69 Ka AP responsa-ble de una incisión de aproximadamente 20 m.
- Una fase de sedimentación del 69 al 90-91 Ka AP, que da lugar al depósito de aproxima-da-mente 2 m de sedimentos; durante este período el Jarama se desplaza lateralmente unos 70 m hacia el sector oeste.
- Una nueva fase de erosión que, entallando la terraza precedente, conduce al río Jarama a una cota de -24m con respecto a su nivel actual.

En el curso de estas variaciones eustáticas, la línea de costa atlántica se desplaza hacia el Oeste un máxi-mo de 26 Km, con unos valores más bien centrados en el entorno de 10 a 15 Km. La continentalidad in-ducida por este alejamiento de la costa es probable-mente débil.

El nivel de base regional, que expresa la diferencia de altitud entre el emplazamiento y el río Jarama, pa-saría en los 100 Ka de 136 a 211 m. La erosión sobre el emplazamiento, controlada en parte por las varia-ciones del nivel de base regional, alcanza una decena de metros en los 100 Ka.

La altitud del Jarama está controlada por las rápi-das fluctuaciones eustáticas, los movimientos tectó-nicos y los procesos de erosión y sedimentación. Su altitud pasaría de 662 m (actual) a 763 m en el máxi-mo glaciar (60 Ka), alcanzando un valor mínimo de 634 m en el 74 Ka AP.

Los cambios de temperatura señalados anterior-mente ocasionan cambios de la vegetación climática. Estos se manifiestan por una rápida evolución de las condiciones actuales hasta el 4,5 Ka AP pasando por asociaciones de bosques de robles con hojas marces-centes, bosques mixtos (zona boreo-montana) y des-pués Taiga (zona boreo-subalpina). Esta última se mantiene durante 20 Ka hasta el 25 Ka AP.

El primer pico de recalentamiento interestadial de 25 a 39 Ka AP permite la recolonización por los bos-ques mixtos durante algunos millares de años, y des-pués por los bosques de robles con hojas marcescen-tes. A partir del 34 Ka AP, el enfriamiento es respon-sable en el 53 Ka AP del establecimiento de una vegetación de tipo ártico-alpina (tundra) que perdura unos 10.000 años, es decir, durante todo el glaciar. El

calentamiento siguiente, brutal, acaba con la instalación durante el óptimo del 72 Ka de una vegetación climática comparable con la actual durante 5 a 6 Ka. Desde 76 a 81 Ka, se instala una vegetación de tipo boreo-montana (bosques mixtos). Posteriormente, y hasta el final de la simulación, la vegetación de tipo boreo-subalpina (Taiga) está presente en la región.

8. Base de datos paleoclimáticos y paleoambientales. Reconstrucción del clima peninsular a lo largo del cuaternario. ITGE

De la fase de integración de resultados y síntesis de dicho proyecto se han obtenido una serie de resultados de gran interés para el conocimiento de la evolución paleoclimática y paleoambiental de la Península Ibérica en los últimos dos millones de años y que básicamente podrían resumirse en:

- Creación de una Base de Datos Paleoclimáticos y Paleoambientales de la Península Ibérica.
- Reconstrucción del clima peninsular a lo largo del Cuaternario.
- Generación de una cartografía secuencial de la evolución del clima de la Península Ibérica mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

8.1 Base de Datos Paleoclimáticos y Paleoambientales de la Península Ibérica

Para la creación de dicha base de datos se llevó a cabo una exhaustiva recopilación bibliográfica de publicaciones, proyectos, etc... existentes que pudieran aportar información paleoclimática y paleoambiental. Además de la información bibliográfica de los documentos consultados, se ha completado dicha base de datos con los resultados obtenidos en los diferentes subproyectos.

Con el fin de facilitar la explotación de la información recopilada, se procedió al diseño de una ficha paleoclimática que se estructuró de la siguiente forma:

- **CRONOLOGÍA**
 - ☐ Tipo de Datación: Relativa o Absoluta.
 - ☐ Método aplicado y datación obtenida.
 - ☐ Período.
 - ☐ Subperíodo.

■ LOCALIZACIÓN

- ☐ Lugar o nombre del enclave del que se obtienen los datos.
- ☐ Coordenadas UTM.
- ☐ Región/Provincia.

■ CLIMA

- ☐ Clima actual.
- ☐ Paleoclima.
- ☐ Observaciones.
- ☐ Referencia bibliográfica.

Cada ficha por lo tanto, constituye un registro paleoclimático y paleoambiental georreferenciado espacial y temporalmente, lo que nos ha permitido poder incorporar la referida base de datos en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

La Base de Datos Paleoclimáticos y Paleoambientales de la Península Ibérica cuenta con un total de 150 fichas. En cuanto a la información disponible podemos señalar:

- La escasez de registros del Pleistoceno inferior y medio.
- El reducido número de dataciones absolutas.
- La desigual distribución de los datos, la mayor parte de ellos pertenecen a la Cornisa Cantábrica y región Mediterránea; mientras que el noroeste y centro peninsular apenas está documentado.
- La caracterización paleoclimática es en general imprecisa, enunciándose en términos cualitativos (frío, cálido, templado, seco...) y en muchas ocasiones tomando como punto de referencia (más frío o cálido que...) períodos cuyas características climáticas no han sido definidas o bien resultan ser igual de imprecisas.

8.2 Reconstrucción del clima peninsular a lo largo del Cuaternario

La reconstrucción paleoclimática se ha llevado a cabo partiendo de la siguiente hipótesis: las diferentes regiones climáticas, no así sus climas, existentes actualmente en la Península Ibérica se habrían mantenido a lo largo del Cuaternario.

Este planteamiento inicial se apoya en los siguientes hechos:

- La ausencia de procesos orogénicos capaces de provocar alteraciones en la circulación general atmosférica.

- La continentalización inducida por las fluctuaciones glacioeústicas a lo largo de dicho período fue relativamente pequeña. La variación de la línea de costas fue muy reducida debido a la escasa extensión de la plataforma continental.
- La localización latitudinal de la Península supuso un emplazamiento marginal con respecto a la acción directa de los casquetes de hielo.

Estas regiones se han establecido a partir de la división climática sintetizada de Font Tullot (1983), basada en la variación cíclica anual de la circulación general de la atmósfera.

La definición de los distintos paleoclimas se ha llevado a cabo en función del clima actual, cuya caracterización más precisa le convierte en un buen punto de referencia para la interpretación y valoración del clima del pasado.

De acuerdo con lo planteado, se extrapoló la información de los distintos registros paleoclimáticos de carácter puntual a las correspondientes regiones climáticas, utilizándose para ello el SIG ARC/INFO como herramienta de análisis.

A finales del Plioceno cabe afirmar la presencia de un clima Mediterráneo de características subtropicales que permitió el desarrollo de bosques con especies templadas (géneros actuales y exóticas (*Carya*, *Pterocarya*, *Zelkova*...etc)), laurisilva y especies mediterráneas.

Durante el Pleistoceno Inferior hasta el interglacial Günz-Mindel (1,8 Ma - 650 ka BP), las condiciones climáticas debieron mantenerse relativamente cálidas (persistencia de elementos termófilos de la flora terciaria). Es a partir del Pleistoceno Medio cuando el deterioro climático comienza a ser más acusado, constatándose un creciente proceso de aridez al menos durante las etapas glaciares.

El Pleistoceno Superior se inicia con el interglacial Riss-Würm (120 ka BP), presentando en general unas condiciones climáticas más cálidas y húmedas que las actuales, aunque con temperaturas relativamente más bajas que la de los interglaciares del Pleistoceno Inferior y Medio. Se han distinguido en este período los siguientes tipos de climas:

- Templado Oceánico cálido hiperhúmedo.
- Mediterráneo Atlántico cálido hiperhúmedo.
- Mediterráneo Subcontinental oceánico cálido.
- Mediterráneo Continental de veranos cálidos hiperhúmedo.

- Mediterráneo cálido muy húmedo.

La glaciación würmiense y más concretamente durante el pleniglacial (75000-15000 BP) representa el momento de mayor rigor climático, habiéndose diferenciado distintos paleoclimas:

- Frío Oceánico árido
- Mediterráneo Atlántico frío muy árido.
- Mediterráneo Subcontinental de inviernos muy fríos y seco.
- Mediterráneo Continental extremado muy árido.
- Mediterráneo de inviernos fríos extremadamente árido.

El Tardiglacial (15000-10000 BP) se va a caracterizar por presentar durante los períodos estadiales (Dryas antiguo y reciente) un clima similar al del pleniglacial, aunque menos riguroso y con características ombroclimáticas menos áridas. En cuanto a los períodos interestadiales presentan un clima definido por un ombroclima similar o ligeramente más húmedo que el actual y unas características térmicas más frescas que las existentes actualmente.

El Holoceno comienza hace unos 10000 años BP, representando un continuo proceso de mejoría climática hasta llegar a las condiciones actuales. No obstante en el Postglacial, únicamente durante el Óptimo Climático del período Atlántico (6000 BP) se alcanzaron valores de temperatura y precipitación superiores a las del período Subatlántico, aunque no se alcanzaron las condiciones benignas del último interglacial.

8.3 Generación de una cartografía secuencial de la evolución del clima de la Península Ibérica mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La integración de la Base de Datos Paleoclimáticos y Paleoambientales de la Península Ibérica en el Sistema de Información Geográfica ARC/INFO, ha permitido la generación de una secuencia cartográfica de la evolución del clima a lo largo del Cuaternario.

El uso del SIG presenta como principal ventaja la posibilidad de una constante actualización cartográfica de la evolución climática del Cuaternario a medida que la Base de Datos se enriquezca con nuevos registros.

Cuadro 1

| Variable climática recons. | Período recons. | RSO |
|--|-----------------|------|
| ZONA GALLEGA | | |
| Observatorio de Puebla de Brollón (Lugo) | | |
| Temperatura de abril | 1733-1992 | 0.41 |
| Temperatura de septiembre | 1757-1992 | 0.34 |
| Observatorio de Carballino (Orense) | | |
| Temperatura de abril | 1650-1992 | 0.37 |
| Temperatura de mayo | 1757-1992 | 0.46 |
| Observatorio de Labacolla (La Coruña) | | |
| Temperatura de abril | 1757-1992 | 0.30 |
| Observatorio de Ginzo de Limia (Orense) | | |
| Precipitación de abril | 1757-1992 | 0.30 |
| Precipitación de mayo | 1757-1992 | 0.36 |
| ZONA CENTRAL | | |
| Observatorio de Navacerrada (Madrid) | | |
| Temperatura de febrero+marzo+abril | 1770-1986 | 0.43 |
| Temperatura de julio+agosto+septiembre | 1680-1986 | 0.59 |
| Precipitación de julio+agosto | 1680-1986 | 0.43 |
| Precipitación de julio+agosto+septiembre | 1680-1986 | 0.33 |
| Precipitación de agosto+septiembre+octubre | 1770-1986 | 0.53 |
| Precipitación anual | 1770-1986 | 0.47 |
| Observatorio de Madrid-Retiro | | |
| Temperatura de febrero-marzo | 1771-1986 | 0.36 |
| Precipitación de septiembre-octubre | 1770-1986 | 0.37 |
| Observatorio de Segovia | | |
| Temperatura de septiembre+octubre | 1770-1986 | 0.32 |
| Observatorio de Avila | | |
| Temperatura de septiembre+octubre | 1770-1986 | 0.40 |
| ZONA DE CUENCA | | |
| Observatorio de Uña (Cuenca) | | |
| Precipitación de julio+agosto+septiembre | 1770-1986 | 0.40 |
| Precipitación de diciembre | 1770-1986 | 0.33 |
| Precipitación anual | 1770-1986 | 0.30 |

Cuadro 1 (continuación)

| Variable climática recons. | Período recons. | RSO |
|--|-----------------|------|
| ZONA IBERICA NW | | |
| Observatorio de Vinuesa (Soria) | | |
| Temperatura de mayo | 1680-1990 | 0.37 |
| Temperatura de julio | 1680-1990 | 0.33 |
| Temperatura de septiembre | 1650-1990 | 0.39 |
| Temperatura de octubre | 1680-1990 | 0.39 |
| Temperatura de junio+julio+agosto | 1680-1990 | 0.37 |
| Precipitación de junio | 1680-1990 | 0.39 |
| Precipitación de octubre | 1670-1990 | 0.42 |
| Precipitación de noviembre | 1610-1990 | 0.40 |
| Precipitación de abril+mayo+junio | 1680-1990 | 0.36 |
| Precipitación de junio+julio+agosto | 1680-1990 | 0.34 |
| Observatorio de Burgo de Osma | | |
| Temperatura de mayo | 1680-1990 | 0.37 |
| Temperatura de junio | 1680-1990 | 0.30 |
| Temperatura de julio | 1680-1990 | 0.33 |
| Precipitación de mayo | 1610-1990 | 0.45 |
| Precipitación de octubre | 1613-1990 | 0.49 |
| Precipitación de noviembre | 1613-1990 | 0.32 |
| Precipitación de mayo+junio | 1680-1990 | 0.44 |
| Precipitación de julio+agosto | 1610-1990 | 0.35 |
| Precipitación de septiembre+octubre | 1613-1990 | 0.40 |
| ZONA IBERICA SE | | |
| Observatorio de Teruel | | |
| Temperatura de marzo | 1670-1990 | 0.37 |
| Temperatura de marzo-abril | 1670-1993 | 0.37 |
| Precipitación de julio | 1670-1993 | 0.30 |
| ZONA PIRENAICA | | |
| Observatorio de Canfranc (Huesca) | | |
| Temperatura de noviembre | 1730-1992 | 0.30 |
| Temperatura de diciembre | 1690-1992 | 0.35 |
| Temperatura de enero+febrero | 1730-1992 | 0.30 |
| Temperatura de julio+agosto | 1730-1992 | 0.31 |
| Temperatura de junio+julio+agosto | 1730-1992 | 0.36 |
| Temperatura de octubre+noviembre+diciembre | 1690-1992 | 0.37 |
| Observatorio de Sabiñánigo | | |
| Temperatura de julio | 1730-1990 | 0.38 |
| Temperatura de agosto | 1690-1992 | 0.34 |
| Temperatura de noviembre+diciembre | 1730-1992 | 0.30 |
| Temperatura de julio+agosto+septiembre | 1730-1992 | 0.34 |
| Temperatura de octubre+noviembre+diciembre | 1690-1992 | 0.32 |
| Precipitación de junio | 1730-1992 | 0.32 |

Cuadro 1 (continuación)

| Variable climática recons. | Período recons. | RSO |
|--|-----------------|------|
| ZONA SURESTE | | |
| Observatorio de Arguellite (Albacete) | | |
| Temperatura de enero | 1620-1998 | 0.33 |
| Temperatura de febrero | 1690-1988 | 0.32 |
| Temperatura de marzo | 1690-1988 | 0.50 |
| Temperatura de abril | 1690-1988 | 0.49 |
| Temperatura de mayo | 1690-1988 | 0.55 |
| Temperatura de junio | 1690-1988 | 0.32 |
| Temperatura de julio | 1690-1988 | 0.37 |
| Temperatura de agosto | 1690-1988 | 0.35 |
| Temperatura de septiembre | 1690-1988 | 0.36 |
| Temperatura de octubre | 1690-1988 | 0.43 |
| Temperatura de noviembre | 1690-1988 | 0.40 |
| Temperatura de diciembre | 1690-1988 | 0.37 |
| Precipitación de febrero | 1690-1988 | 0.35 |
| Precipitación de abril | 1690-1988 | 0.47 |
| Precipitación de junio | 1690-1988 | 0.34 |
| Precipitación de julio+agosto | 1690-1988 | 0.31 |
| Precipitación de septiembre+octubre | 1690-1988 | 0.30 |
| Precipitación de octubre+noviembre+diciembre | 1690-1988 | 0.35 |
| Observatorio de Molinicos (Albacete) | | |
| Temperatura de julio | 1620-1988 | 0.34 |
| Temperatura de septiembre | 1620-1988 | 0.37 |
| Temperatura de julio+agosto | 1620-1988 | 0.37 |
| Temperatura de septiembre+octubre | 1620-1988 | 0.34 |
| Temperatura de julio+agosto+septiembre | 1620-1988 | 0.38 |
| Precipitación de febrero | 1690-1988 | 0.35 |
| Observatorio de Siles (Jaén) | | |
| Temperatura de marzo | 1690-1988 | 0.39 |
| Temperatura de abril | 1690-1988 | 0.34 |
| Temperatura de julio | 1690-1988 | 0.38 |
| Temperatura de septiembre | 1690-1988 | 0.35 |
| Temperatura de julio+agosto | 1690-1988 | 0.31 |
| Precipitación de febrero | 1690-1988 | 0.38 |
| Precipitación de septiembre | 1690-1988 | 0.32 |
| Precipitación de enero+febrero+marzo | 1690-1988 | 0.33 |
| Observatorio de Santiago de la Espada (Jaén) | | |
| Temperatura de agosto | 1690-1988 | 0.47 |
| Temperatura de julio+agosto | 1690-1988 | 0.52 |
| Temperatura de julio+agosto+septiembre | 1690-1988 | 0.48 |
| Observatorio de Pontones (Jaén) | | |
| Temperatura de abril | 1690-1988 | 0.30 |
| Temperatura de agosto | 1690-1988 | 0.31 |
| Temperatura de marzo+abril | 1690-1988 | 0.30 |
| Temperatura de abril+mayo+junio | 1690-1988 | 0.30 |
| Temperatura de julio+agosto | 1690-1988 | 0.32 |
| Temperatura de octubre+noviembre+diciembre | 1690-1988 | 0.31 |
| Precipitación de octubre | 1690-1988 | 0.33 |
| Precipitación de octubre+noviembre+diciembre | 1690-1988 | 0.31 |

Cuadro 1 (continuación)

| Variable climática recons. | Período recons. | RSO |
|--|-----------------|------|
| ZONA SURESTE (continuación) | | |
| Observatorio de Vélez Blanco (Almería) | | |
| Temperatura de julio | 1690-1988 | 0.39 |
| Temperatura de julio+agosto+septiembre | 1690-1988 | 0.30 |
| Precipitación de enero | 1690-1988 | 0.34 |
| Precipitación de mayo | 1690-1988 | 0.32 |
| Observatorio de Embalse de Puentes (Murcia) | | |
| Temperatura de enero | 1690-1988 | 0.32 |
| Temperatura de marzo | 1690-1988 | 0.33 |
| Temperatura de abril | 1690-1988 | 0.42 |
| Temperatura de mayo | 1690-1988 | 0.42 |
| Temperatura de julio | 1690-1988 | 0.48 |
| Temperatura de agosto | 1690-1988 | 0.31 |
| Temperatura de septiembre | 1690-1988 | 0.40 |
| Precipitación de enero | 1690-1988 | 0.34 |
| Precipitación de junio | 1690-1988 | 0.31 |
| Precipitación de septiembre | 1690-1988 | 0.39 |

Tabla 1
TERRAZAS Y CORRELACIONES EN EL AREA DE TALAVERA DE LA REINA

| ALLUVIAL SEQUENCES | | | | |
|--------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|
| Terraces | Talavera de la Reina | La Puebla-San Bartolomé de las Abiertas | Malpica | Central eléctrica de Castrojón |
| TR 13 | + 3-5 m | + 3-5 m | + 3-5 m | + 3-5 m |
| TR 12 | + 7-9 m Talavera de la Reina | + 7-9 m Los Morrillos/San Juan | + 7-9 m Malpica de Tajo | + 7-9 m Madrigalejo |
| TR 11 | — | + 20 m Casa de Sotocochino | + 20 m Casa de Sotocochino | + 15-20 m |
| TR 10 | — | + 30 m Berny | + 25-30 m Besana | + 15-20 m |
| TR 9 | — | + 45-50 m Quinto de Berny | + 46 m Quinto de Hornaguera | + 25-30 m |
| TR 8 | — | + 60-65 m | + 60-65 m Quinto de Valdemerinas | + 40-45 m |
| TR 7 | — | + 75-80 m Quinto Vaqueril Bajo | + 75-80 m Quinto del Ocho | + 55-60 m Los Chortales |
| TR 6 | — | + 95-100 m La Pueblanueva | + 95-100 m Casa de Vacas | |
| TR 5 | — | + 105 m Casa de los Cortijos | + 110 m Palacio de la Sierrecilla | |
| TR 4 | + 120 m Casa de los Charquitos | + 115-120 m Laguna del Mesto | | |
| TR 3 | + 130 m Llanos del Carrasco | + 130 m Casa de Buenavista | | |
| TR 2 | | + 155 m Laguna del Javal | | |
| TR 1 | | + 185 m Malpasillo | | |
| RAÑA (Ñ) | + 200-210 m (570 m Doctova) | 245-250 m (Raña 630 m) | + 235 m (644 m Chorchalejo) | |

Tabla 2
TERRAZAS Y CORRELACIONES EN EL AREA DE TOLEDO

| ALLUVIAL SEQUENCES | | | |
|--------------------|--|--------------------------------|----------------------|
| Terraces | Valdelobos | Valdepastores | Bravo |
| TT 13 | Vega | Vega | Vega |
| TT 12 | + 4-6 m Peraleda | + 7-9 m | + 7-9 m |
| TT 11 | + 20 m | +16-17 m Casa Valdepastores | + 15 m Villamejor |
| TT 10 | + 30 m Pinedo | + 25 m | + 26-28 m |
| TT 9 | + 40 m Salchicha Inf. Buenavista Inf. | + 39 m | + 42 m |
| TT 8 | — | + 50 m | + 48-50 m |
| TT 7 | + 60-62 m Salchicha Sup. Buenavista Sup. | + 56-59 m | + 57-60 m |
| TT 6 | + 75-80 m Salto Zorra | + 74 m | + 75 m |
| TT 5 | — | + 84 m | + 84-85 m |
| TT 4 | — | — | + 95 m Bravo |
| TT 3 | + 105-107 m Matanzas | — | — |
| TT 2 | + 113-115 m | + 110 m | — |
| TT 1 | + 125 m | — | — |

Tabla 3
SINTESIS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

| Localidad | Cart. Geom. (Ha) | Columnas | Isotopía | Palin. | L.T. | Granul. | Dataciones | | | |
|------------|------------------|----------|----------|--------|------|---------|------------|-----|-----|--------|
| | | | | | | | U/TH | ESR | AAR | PALEOM |
| Reguerillo | — | 12 | 73 | — | 36 | 13 | 2 | 2 | 15 | 21 |
| Priego | 20000 | 12 | 91 | 3 | 76 | — | 7 | 7 | 72 | 13 |
| Río Blanco | 14000 | 10 | 92 | 6 | 54 | — | — | 7 | 36 | 5 |
| Tolox | 37500 | 12 | 55 | — | 53 | — | — | — | 11 | — |
| Ruidera | 10200 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Banyoles | — | 13 | 170 | — | — | — | — | — | — | — |
| Ursidos | — | — | 50 | — | — | — | — | — | — | — |
| Totales | 81700 | 59 | 531 | 9 | 220 | 13 | 9 | 23 | 155 | 39 |

Palin. = Palonología; L.T. = Lámina Transparente; Granul. = Granulometría.

CUATERNARIO

PLIOCENO

SUPERIOR PLEISTOCENO

INFERIOR PLEISTOCENO

HOLOCENO

SUPERFICIE DIVISORIA DE VILLANUEVA DE LA CAÑADA-SEVILLA LA NUEVA

GLACIS DE CARABANCHA A.

SUPERFICIES DIVISORIAS DE MAJADAHONDA ALCORCON / FUENCARRAL

PIEDEMONTE DE LA RAÑA AL SUR DE SOMOSIERRA Y SIERRA DE AYLLÓN

SUPERFICIE MULTIPOLIGENICA DEL PARAMO CALIZO DE LA ALCARRIA

SUELOS ROJOS

FERRIALITICOS

PARDO CALIZO

PARDO FERRIALITO

LA PAMA, EL SODIO, ATAJILLO DEL SASTRE, PRADO DE LANEROS, LA GAVIA, CAPTURA CAMAMARILLO

ACACIAS, SAN ISIDRO, ARIDOS 1 y 2, CAPTURA MANZANARES

Superficies S1 y S2 (Madrid, S59)

Llanuras Aluviales del Piedemonte RS1, RS2, RS3, / RJ1, RJ2

Rajo ferrialítico + Ferrialítico ácido

Crosta laminar / Terra - rossa

Elevations (m):

- +4-5m, +8-10m, +16m, +22-24m, +10-32m, +40-42m, +54-56m (Hundidos), +63-64m (Era empedrada)
- +2-3m, +8m, +12m
- +4-5m, +8-10m (Y Mafranca del Castillo), +27-28m, +40-42m, +54-56m, +63-64m, +72-73m, +80-82m, +90-94m (Hesa)
- +1-2m, +4-5m, +8m (Higodromo), +10m(?), +12-15m, +18-20m, +25-30m (San Isidro), +35-40m, +44-46m, +52-54m, +60m, +68-72m (Teleférico), +80-85m, +95m
- +3-5m, +8m, +12-14m (Talamanca), +22m, +26m (Valdeuertos), +32m, +40-42m, +54m, +64m, +74m, +84-86m, +92m
- +4-5m, +7-9m, +10-12m (Alcalá), +18-20m, +23-24m (Alzueque), +30-32m (Albore), +38-40m (Albore), +52-54m, +66-68m, +70-72m (Cabanillas del Campo), +78m, +94m
- +2-3m, +5-6m, +10-12m, +15-16m, +18m, +22-24m, +32-34m, +46-48m, +54m, +62m, +72m, +80m, +96m
- +100-104m, +110-114m, +125-130m, +140-145m (Cerro del Castillo), +150-155m, +170m, +180m, +190m (Cerro del Bayo), +200-202m, +210-212m (Cabeza Gorda)
- +104-108m, +116-118m, +124-126m, +144-146m, +155m (Valmediano), +172m (Puntal del Colegio), +180-184m (Atumar de Valmediano), +190-195m

Figura 1. Tabla de correlación de terrazas fluviales y superficies de la Cuenca de Madrid. (1), (2) y (3), terrazas complejas del Pleistoceno medio y superior de los ríos Guadarrama, Manzanares y Jarama. (4), superficies de colmatación neógena (Pérez González, 1994).

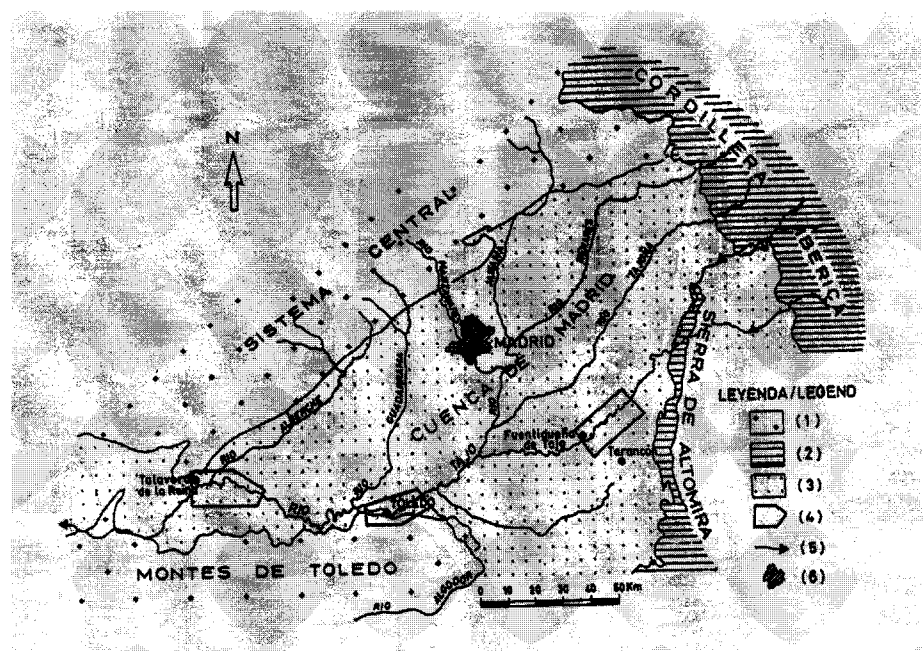


Figura 2. Areas de trabajo en el valle del río Tajo.

LEYENDA. (1) Precámbrico y Paleozoico, (2) Mesozoico, (3) Cenozoico, (4) Zonas seleccionadas, (5) Ríos perennes, (6) Núcleos urbanos.

LEGEND. (1) Precambrian and Paleozoic, (2) Mesozoic, (3) Cenozoic, (4) Areas of Quaternary fields works in Tajo river valley, (5) Perennial rivers, (6) Towns.

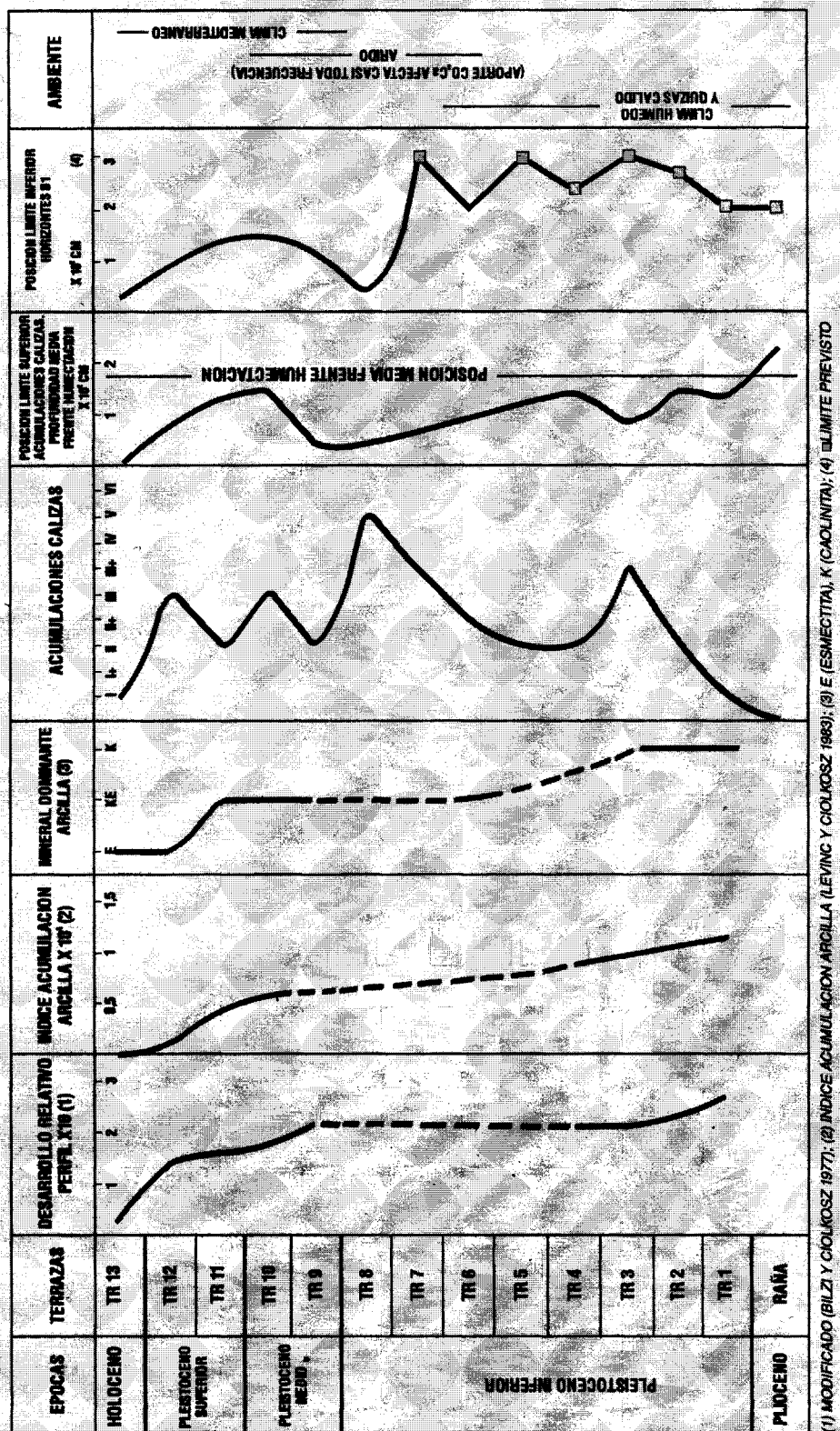


Figura 3. Variabilidad cuaternaria de los suelos en el área de Talavera de la Reina (Gallardo et al. 1995).

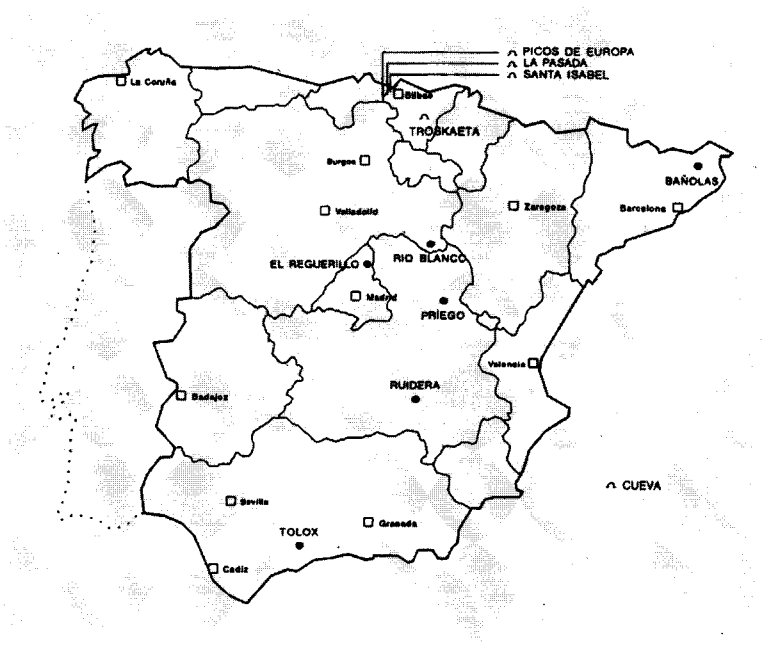


Figura 4. Situación de las áreas de trabajo.

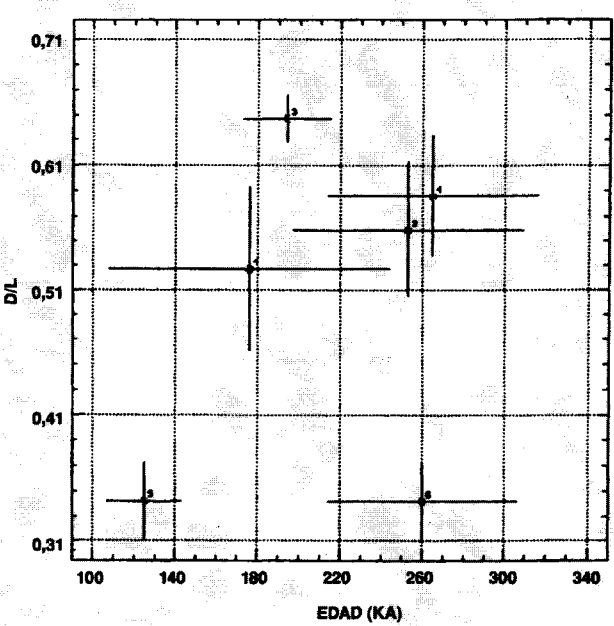


Figura 5. Aminocrología de Redueña a partir de los valores medios de las edades estimadas y de la relación (D/L) para: 1) Prolina, 2) Leucina, 3) Aspártico, 4) Fenilalanina, 5) Glutámico (modelo 1) y 6) Glutámico (modelo 2).

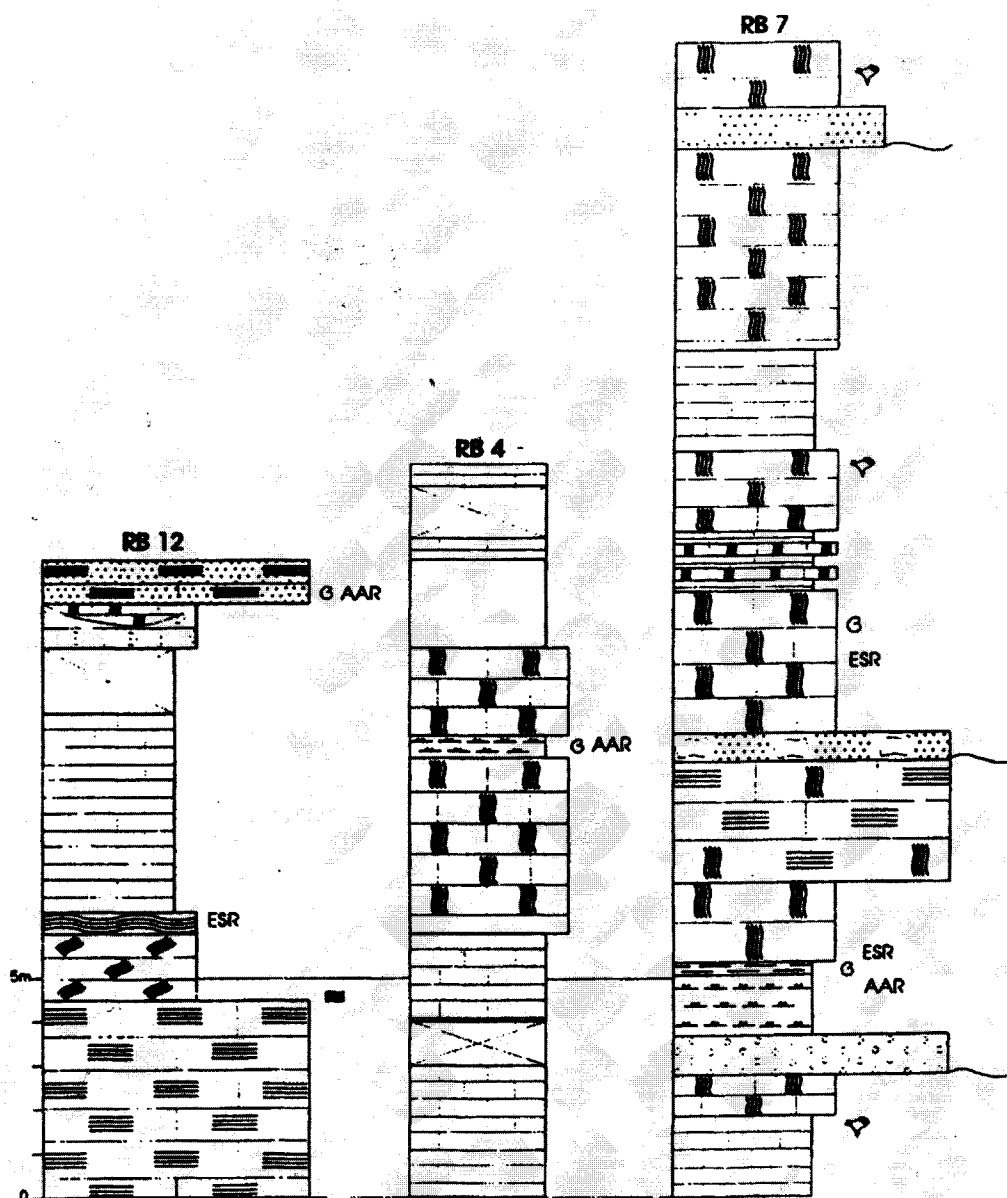


Figura 6. Secuencia travertínica de Río Blanco.
RB-12, Episodio 3 del oxígeno.
RB-4, Episodio 5 del oxígeno.
RB-7, Episodio 7 del oxígeno.

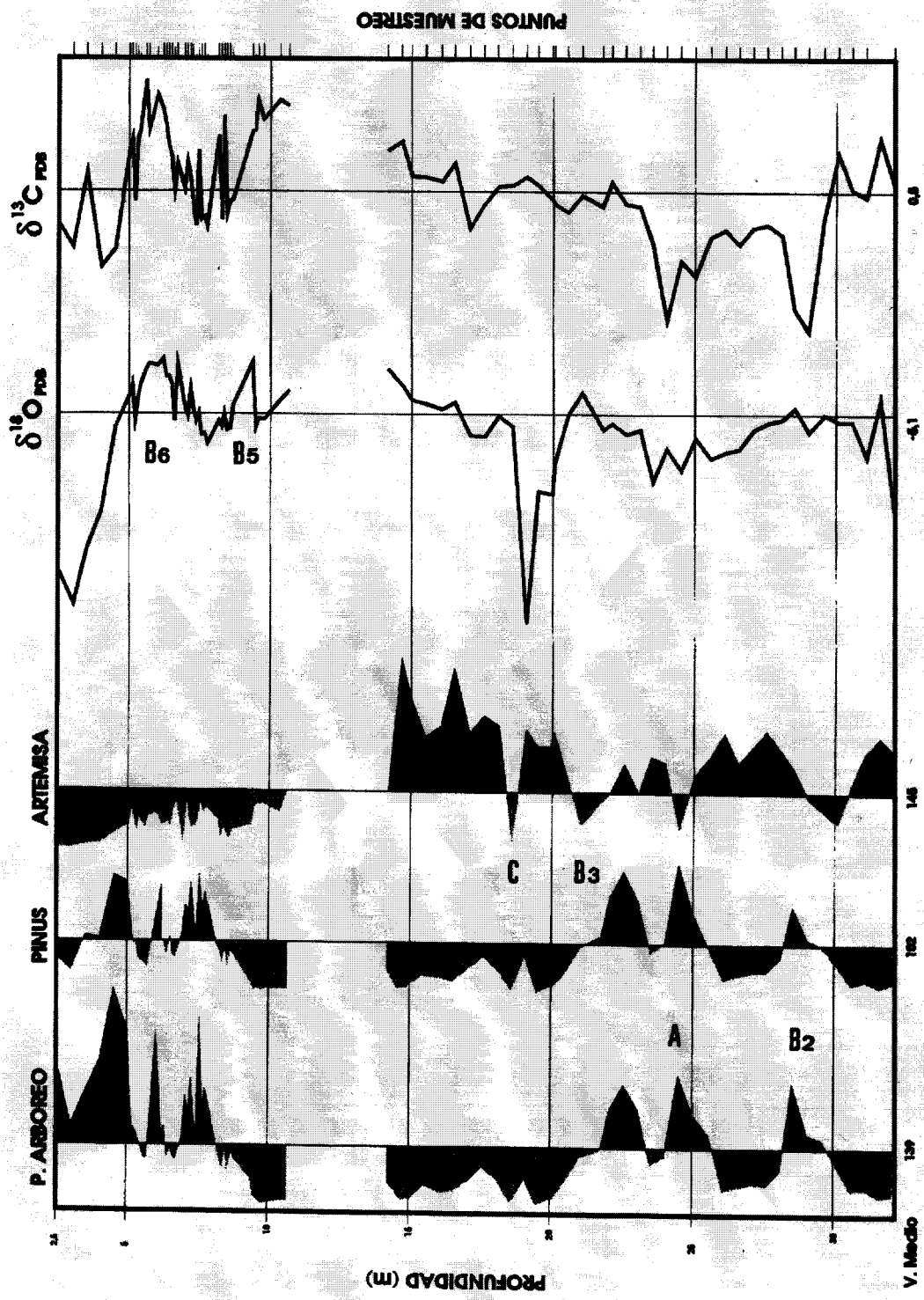


Figura 7. Isotopía de Carbono y Oxígeno, representado junto con la frecuencia de Polen Arbóreo, Pinus y Artemisa en relación con la profundidad.

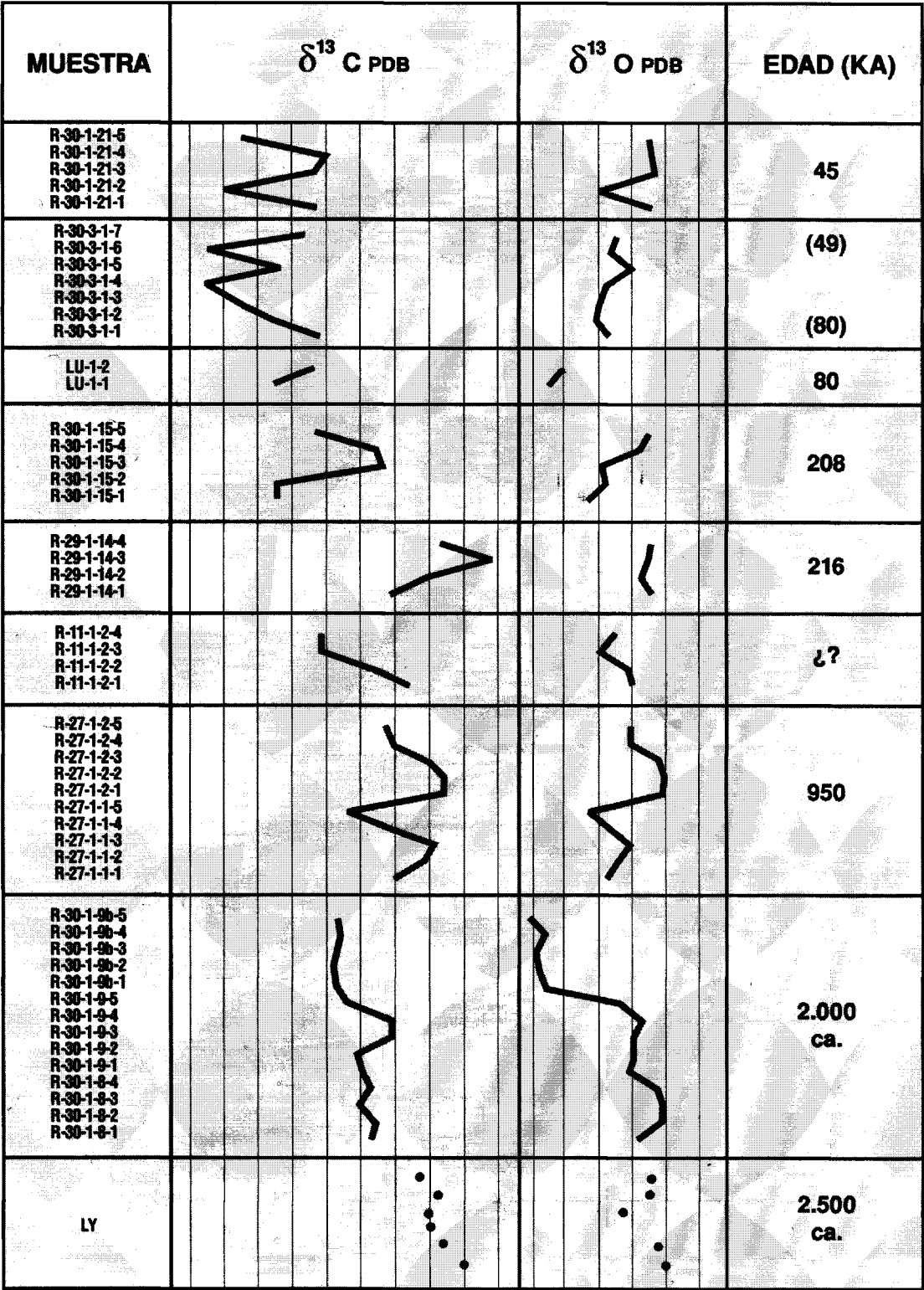
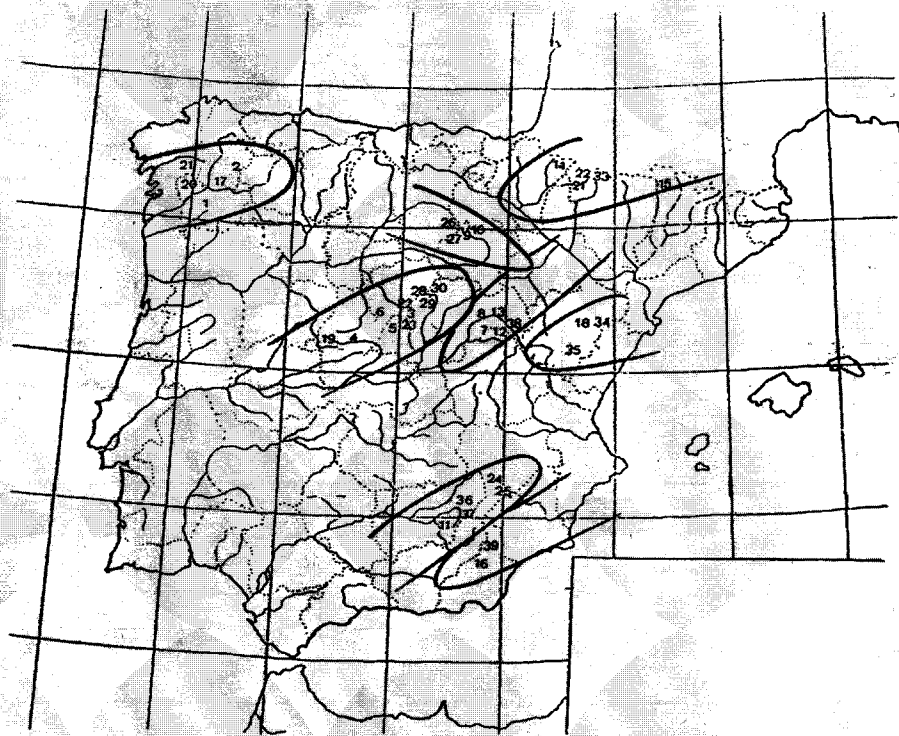


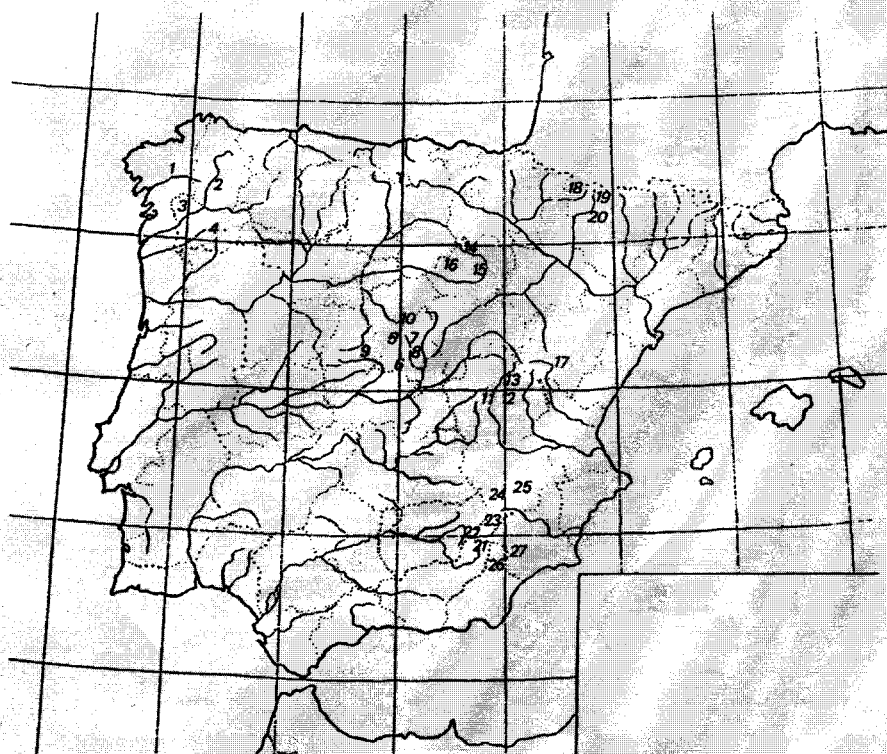
Figura 8. Relaciones isotópicas de Carbono y Oxígeno en los cortes del Reguerillo.



SITUACION DE LAS CRONOLOGIAS DISPONIBLES

| | | |
|----------------|----------------|------------------|
| 1 Invernadeiro | 2 Ancares | 3 Peñahorcada |
| 4 Riscopól | 5 La Peñota | 6 Sietepicos |
| 7 Torretón | 8 Tierramuerta | 9 Covalada |
| 10 Vinuesa | 11 Cazorla | 12 Alto Tajo |
| 13 Boquerón | 14 Larra | 15 Algües Tortes |
| 16 Filabres | 17 Rogueira | 18 Peñarroya |
| 19 Andrinal | 20 Lalín | 21 Santiago |
| 22 Pedriza | 23 Cercelas | 24 Almenara |
| 25 Calar | 26 Neila | 27 B. Herida |
| 28 Navafría A. | 29 Navafría M. | 30 Navafría B. |
| 31 La Trapa | 32 Pinobajo | 33 Ibonciecho |
| 34 Mosqueruela | 35 Bellena | 36 Juan León |
| 37 Galapán | 38 B. Infierno | 39 S. María |

Figura 9. Situación de las cronologías disponibles.



**OBSERVATORIOS METEOROLOGICOS SELECCIONADOS
PARA RECONSTRUIR VARIABLES CLIMATICAS**

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1 La Bacolla (La Coruña) | 14 Vinueva (Soria) |
| 2 Puebla de Brollón (Lugo) | 15 Soria (Soria) |
| 3 Carvallino (Orense) | 16 Burgo de Osma (Soria) |
| 4 Ginzo de Limia (Orense) | 17 Teruel (Teruel) |
| 5 Navacerrada (Madrid) | 18 Canfranc (Huesca) |
| 6 Madrid-Retiro (Madrid) | 19 Panticosa |
| 7 R. Sequillo (Madrid) | 20 Sabinánigo (Huesca) |
| 8 Puentes Viejas (Madrid) | 21 Santiago Espada (Jaén) |
| 9 Avila (Avila) | 22 Pontones (Jaén) |
| 10 Segovia (Segovia) | 23 Siles (Jaén) |
| 11 Cuenca (Cuenca) | 24 Arguillite (Albacete) |
| 12 Emb. Uña (Cuenca) | 25 Molinicos (Albacete) |
| 13 Emb. Toba (Cuenca) | 26 Vélez Blanco (Almería) |
| | 27 Emb. Puente (Murcia) |

Figura 10. Observatorios meteorológicos seleccionados para reconstruir variables climáticas.

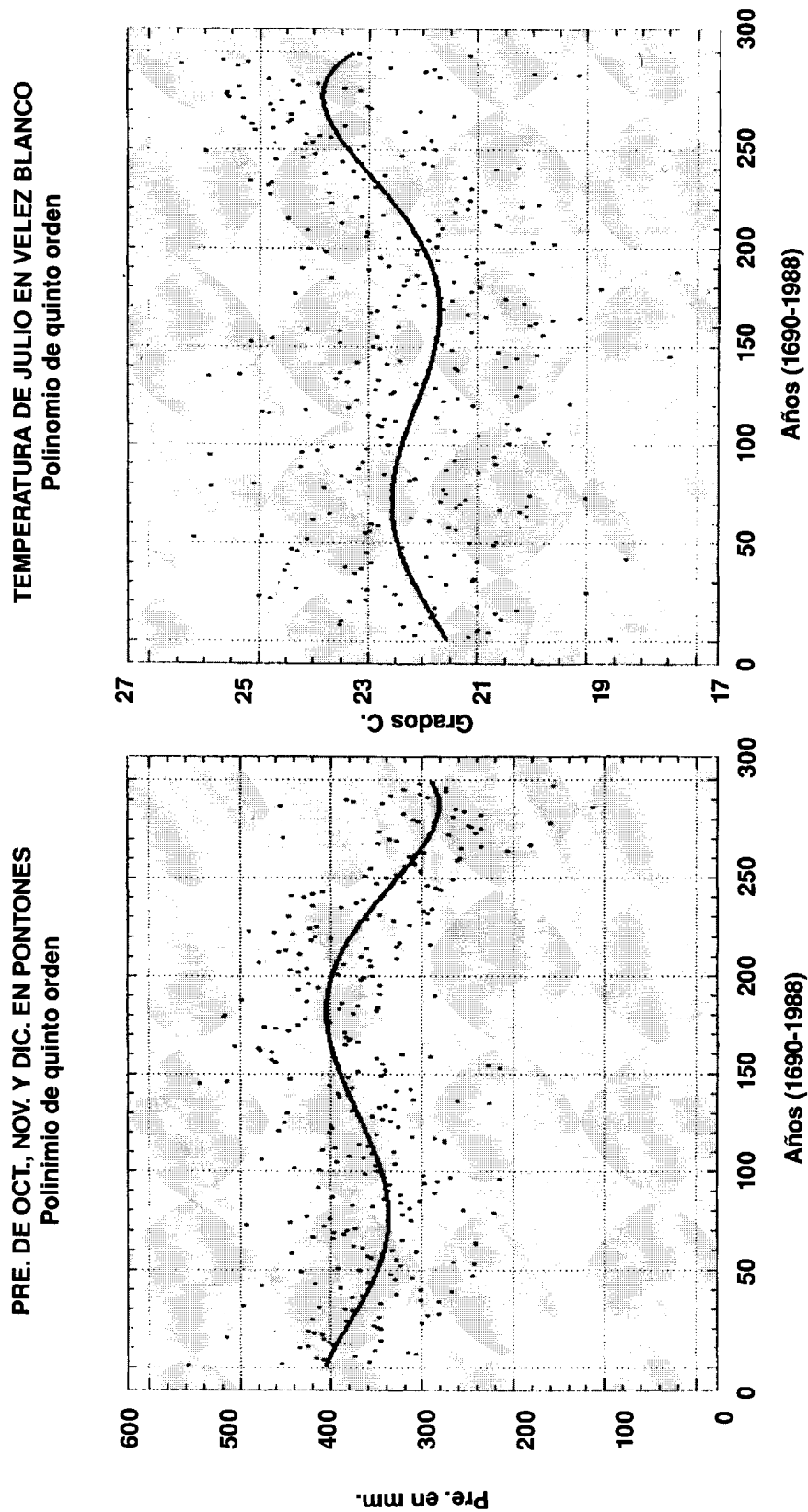


Figura 11.

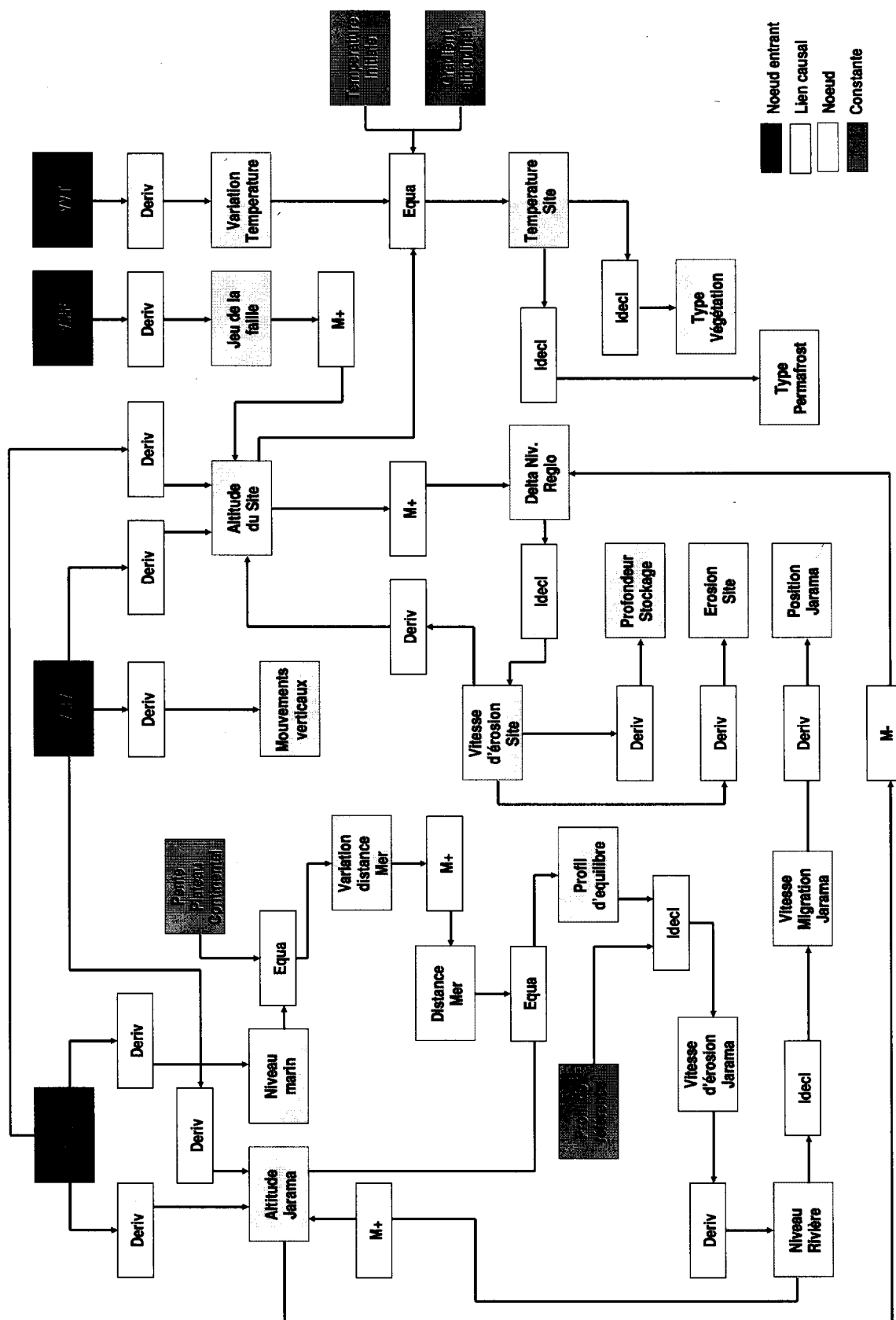


Figura 13. Gráfico Causal para las simulaciones.

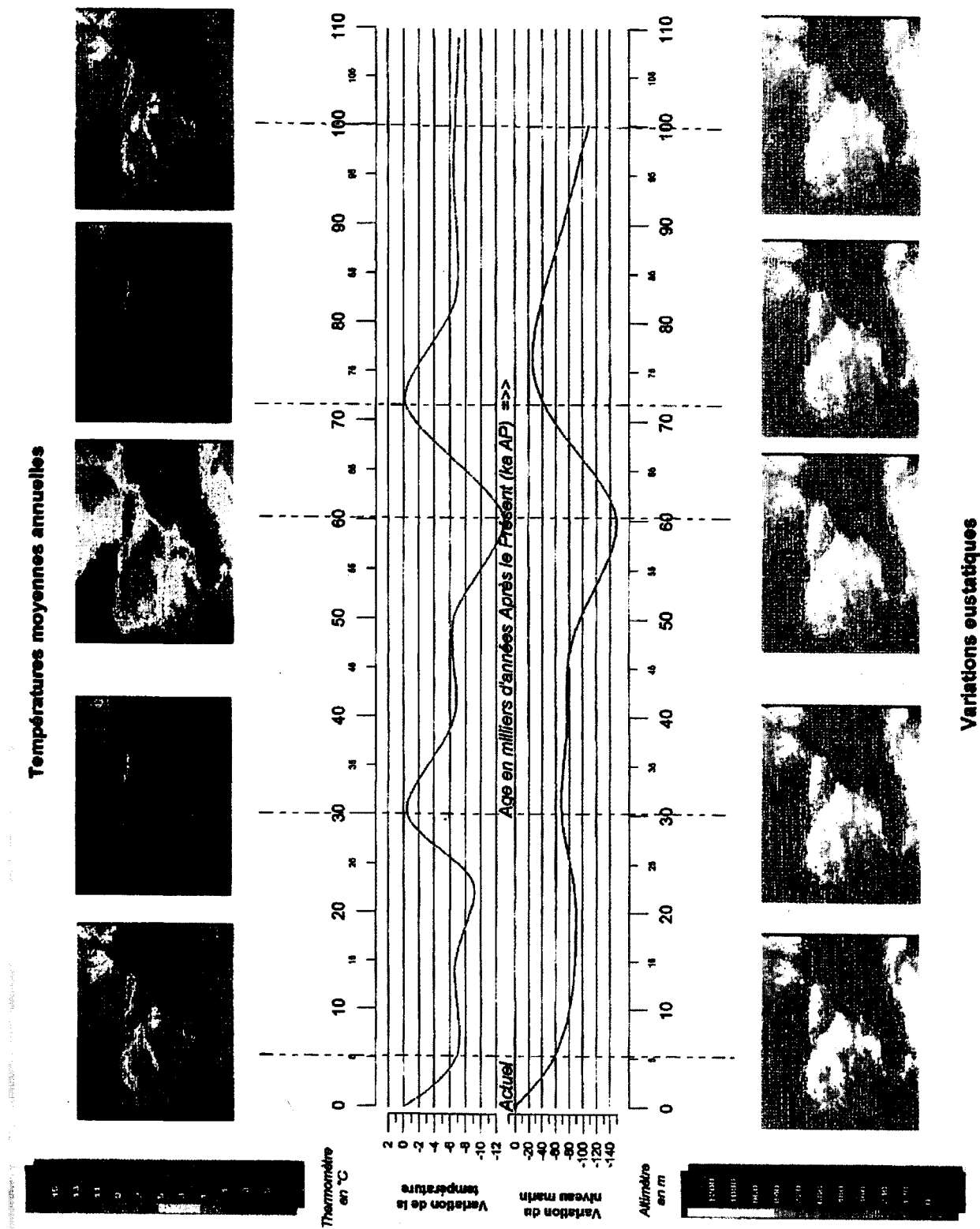


Figura 14. Algunas etapas de la evolución futura de la Península Ibérica.

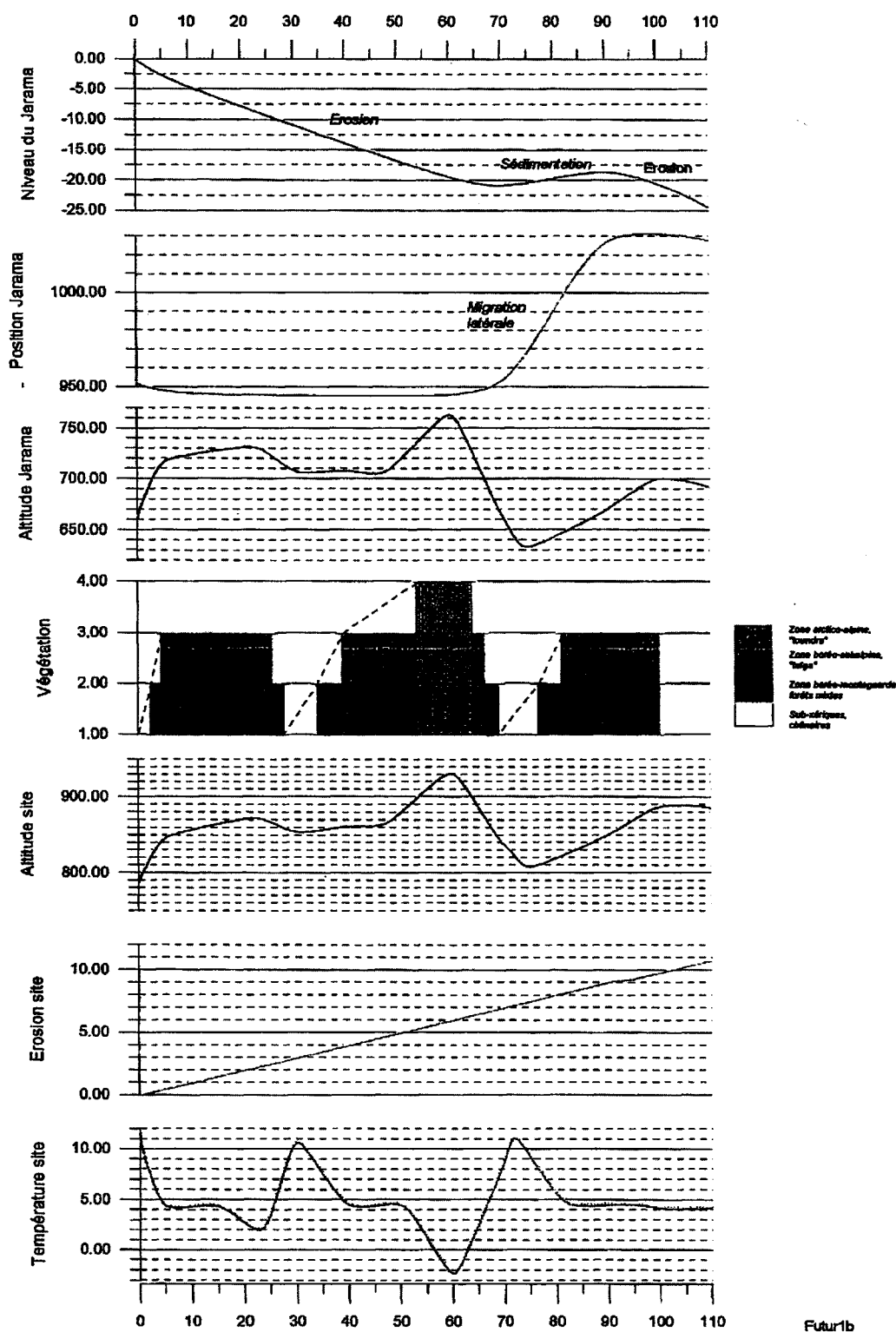


Figura 15. Simulación de la evolución del emplazamiento del Jarama en los próximos 100.000 años.



Figura 16. Bloques diagrama esquemáticos de algunos estadios claves de la evolución futura del Jarama (simulación 1).

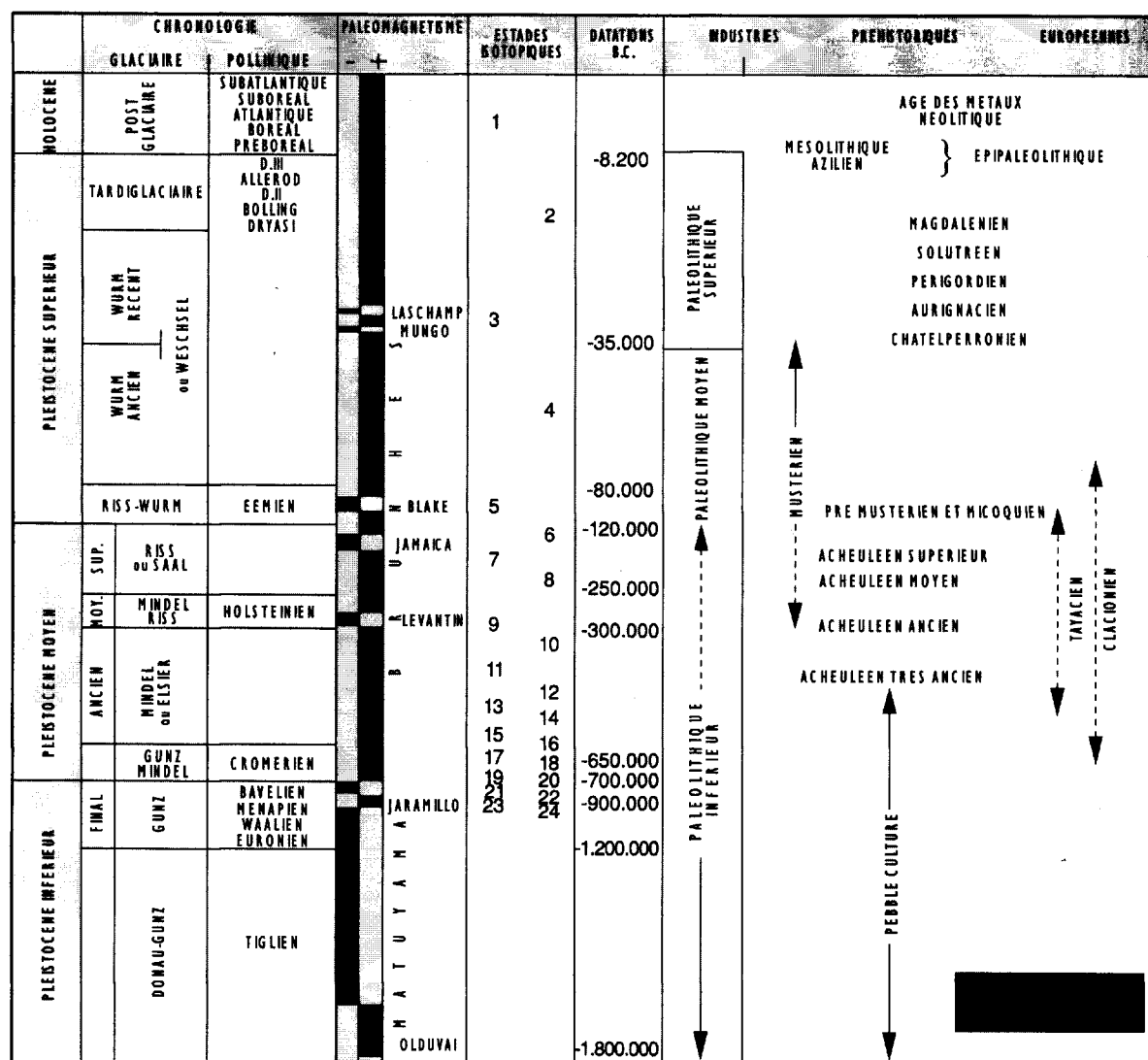


Figura 17. Cuadro cronoestratigráfico del Cuaternario continental europeo (Renault-Miskovsky, 1992).

EL CLIMA DE LA PENINSULA IBERICA DURANTE EL CUATERNARIO
CLIMA ACTUAL
Estudio isotópico

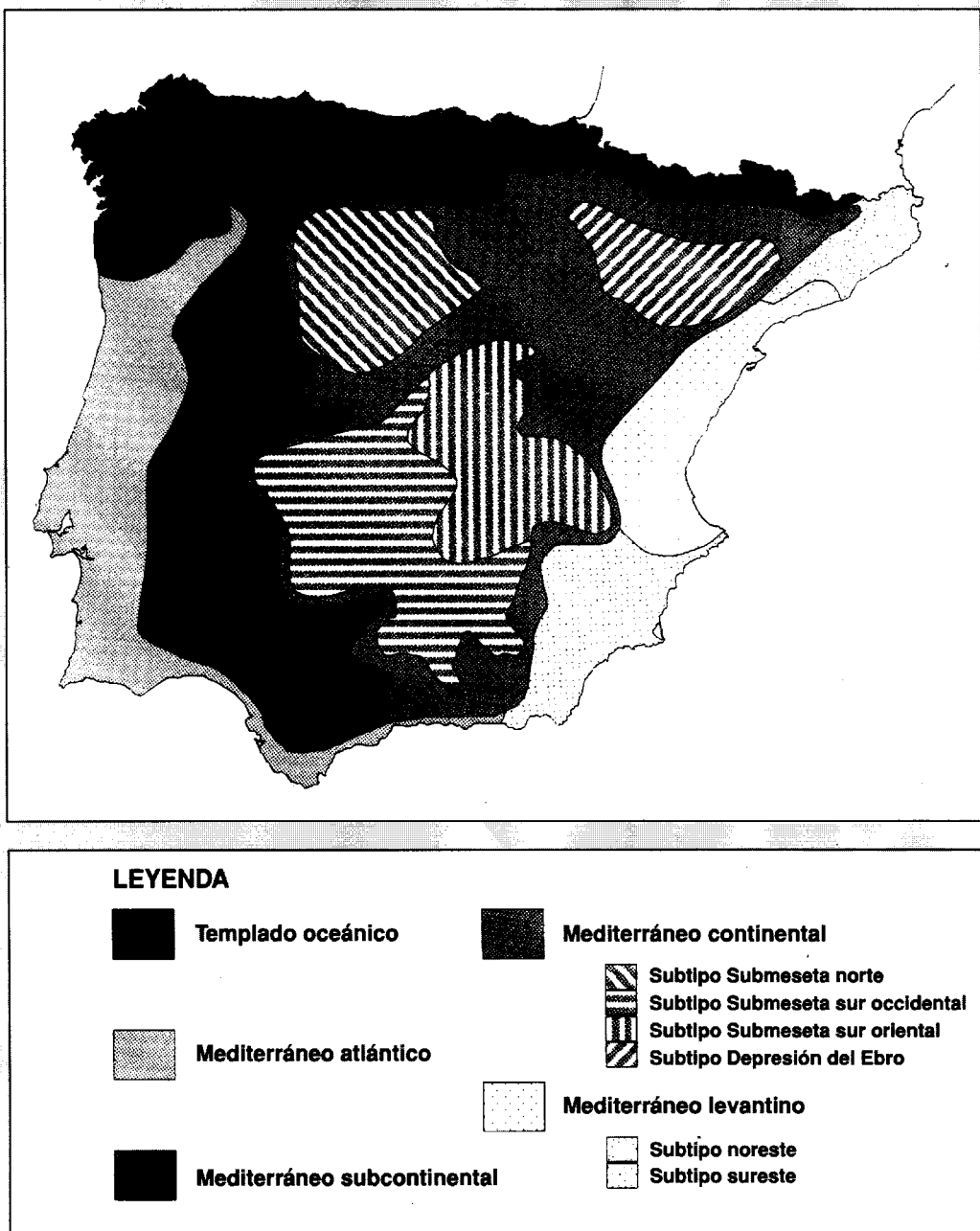


Figura 18. El clima de la Península Ibérica durante el cuaternario. Clima actual. Estadío isotópico 1.

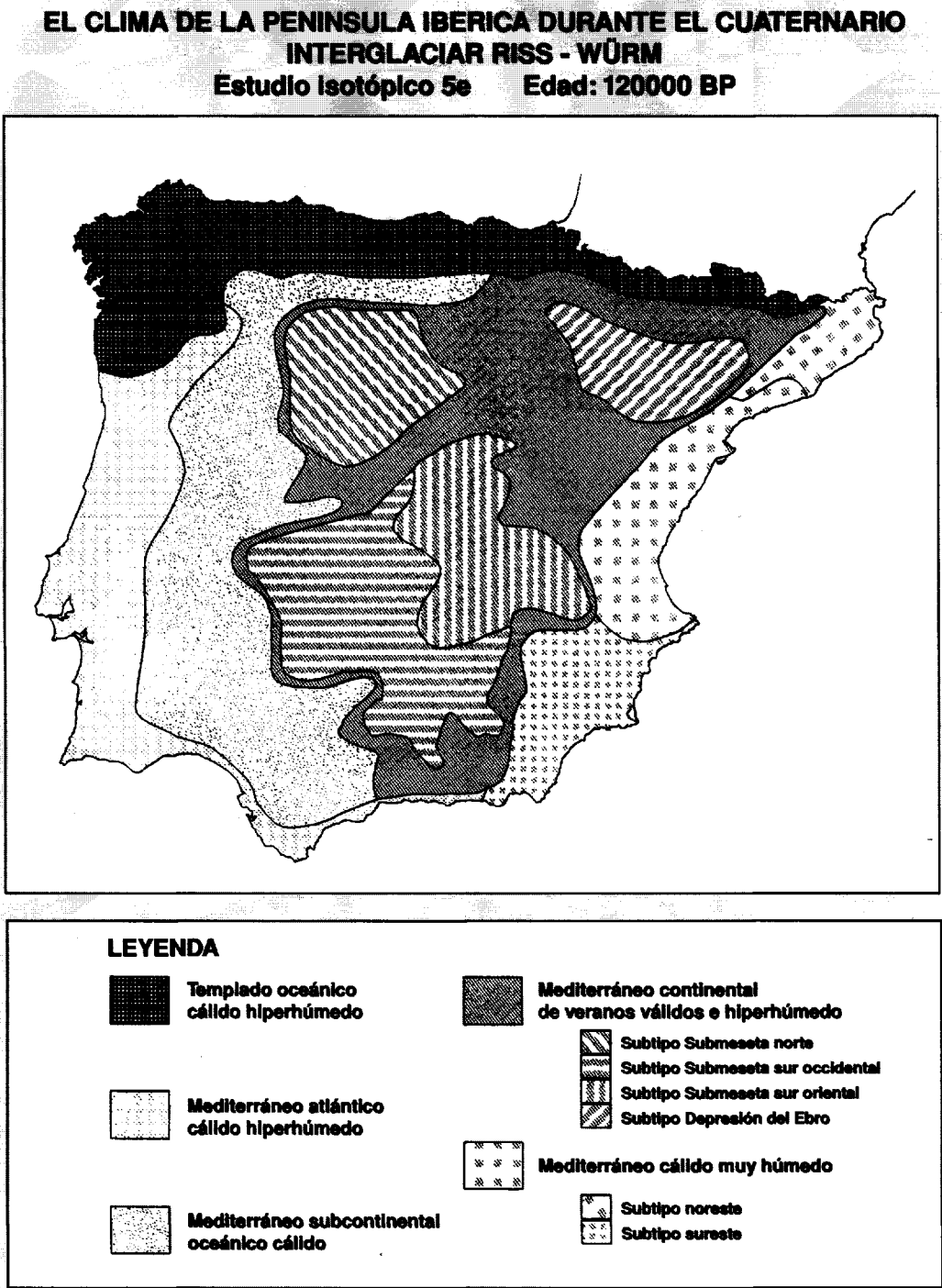


Figura 19. El clima de la Península Ibérica durante el cuaternario. Interglacial Riss-Würm. Estadio isotópico 5e. Edad: 120.000 BP.